



**Interreg**



UNION EUROPEENNE  
UNIONE EUROPEA

**SIGNAL**

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

# T1.5.1 Rapport technique d'analyse des exigences (analyse what-if)

---

## **PARTENAIRES:**

- **UNIVERSITÀ di GENOVA-CIELI**
- **UNIVERSITÀ di GENOVA-DIME**
- **REGIONE LIGURIA**
- **CHAMBRE de COMMERCE et d'INDUSTRIE du VAR**



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

# Projet SIGNAL

Strategie transfrontaliere per la valorizzazione del Gas Naturale Liquido

## **Rapport Activité T1.5 “Analyse what-if pour le réseau maritime”**

*Produit T1.5.1 - “Rapport technique d’analyse des exigences”*

<b>Histoire produit</b>	
<i>Nom file</i>	<b>Rapport Activité T1.5 – Produit T1.5.1</b> <b>“Rapport technique d’analyse des exigences”</b>
<i>Description produit</i>	Rapport des exigences du système du réseau maritime. Sur la base d’une analyse de scénario, le rapport fournit la description des exigences du système et une analyse coûts-avantages pour l’environnement pour le scénario de configuration optimisée du réseau maritime
<i>Date émission</i>	V1 – 31/05/2020
<i>Auteurs</i>	UNIGE-CIELI
<i>Approuvé le</i>	08/06/2020
<i>Version</i>	<b>V.1 Final version (évolutive)</b>
<i>Notes</i>	Le présent document constitue l’output des activités prévues en cas à UNIGE (P6) et en particulier au groupe de travail UNIGE CIELI. Ce document doit donc être considéré en complément du Rapport produit par UNIGE-DIME, intitulé “Rapport technique d’analyse des exigences. (Définition des scénarios, des exigences du système et des avantages environnementaux)” et remis au CF par UNIGE en date 30/10/2019.

## Sommaire

<b>1. Finalità del documento e inquadramento nell’ambito del progetto SIGNAL.....</b>	<b>6</b>
<b>2. Coûts et avantages environnementaux dérivant de l’utilisation du GNL pour la propulsion navale : Analyse de l’état de l’art.....</b>	<b>7</b>
<b>2.1. GNL dans le cadre maritime portuaire et avantages environnementaux: analyse de la littérature pertinente .....</b>	<b>8</b>
2.1.1. Définition des critères initiaux de sélection.....	8
2.1.2. Regroupement des publications par pertinence .....	9
2.1.3. Analyse et synthèse.....	9
2.1.4. Résultats de la systematic literature review.....	9
2.2. Oxydes de soufre (sulphur oxides) .....	20
2.3. Oxydes d’azote (nitrogen oxides).....	21
2.4. Dioxyde de carbone (carbon dioxide).....	21
2.5. PM & VOC .....	22
2.6. Other GHG emissions .....	22
2.7. Méthodologies utilisées dans les articles et facteurs d’émission associées .....	23
<b>3. Profils méthodologiques liés à l’estimation des coûts et des avantages environnementaux de l’utilisation du GNL.....</b>	<b>26</b>
<b>3.1. Approches méthodologiques pour la quantification des coûts et des avantages environnementaux associés au GNL : l’état de l’art .....</b>	<b>26</b>
3.1.1. Méthodologies ARPAV.....	28
3.1.2. Méthodologie de l’Autorité Portuaire de Salerno .....	32
3.1.3. Méthodologie de la société de conseil Techne Consulting .....	33
<b>3.2. Délimitation de l’objet d’analyse et définition des alternatives méthodologiques applicables au Projet SIGNAL .....</b>	<b>34</b>
3.2.1. Méthodologie 1: “Peers HFO” basée sur la consommation annuelle totale .....	39
3.2.2. Méthodologie 2: Méthode “peers HFO” basée sur la consommation miles annuelle	42
<b>4. Analyse des bénéfices environnementaux dans la zone Cible: résultats de l’étude .....</b>	<b>44</b>
4.1. Réduction des émissions par rapport au secteur croisière.....	50
4.2. Réduction des émissions par rapport au secteur ferry & ro-pax .....	50
4.3. Réduction des émissions par rapport au secteur “other tanker” .....	51
<b>Bibliographie .....</b>	<b>53</b>

## Index des tableaux

Tableau 1. Literature review: summary (1/5) .....	10
Tableau 2. Literature review: summary (2/5) .....	11
Tableau 3. Literature review: summary (3/5) .....	12
Tableau 4. Literature review: summary (4/5) .....	13
Tableau 5. Literature review: summary (5/5) .....	14
Tableau 6. Avantages environnementaux : cluster .....	17
Tableau 7. Ship type ed engine type du sample .....	18
Tableau 8. Main findings réalisés les contributions scientifiques inclus dans le sample.....	19
Tableau 9. Summary of non-normalized values for level 1 impact indicators and KPIs.....	22
Tableau 10. Synthèse des facteurs d'émission utilisés dans les articles avec spécification de la méthodologie appliquée .....	24
Tableau 11. Résultat des émissions portuaires avec une approche bottom up et comparaison avec l'estimation top down de APAT-2000 .....	30
Tableau 12. Pourcentages des moteurs installés répartis par typologie de moteur et classe d'appartenance .....	32
Tableau 13. Réduction des émissions de SO <sub>x</sub> dans la zone cible: estimation des bénéfices environnementaux cumulatifs (2020-2035) par typologie de navire (émissions exprimées en tonnes). .....	47
Tableau 14. Réduction des émissions de NO <sub>x</sub> dans la zone cible: estimation des bénéfices environnementaux cumulatifs (2020-2035) par typologie de navire (émissions exprimées en tonnes). .....	48
Tableau 15. Réduction des émissions de CO <sub>2</sub> dans la zone cible: estimation des bénéfices environnementaux cumulés (2020-2035) par typologie de navire (émissions exprimées en tonnes)...	49

## Index des figures

Figure 1. Distribution temporelle du sample .....	16
Figure 2. Systematic literature review : approche théorique adoptée .....	16
Figure 3. Avantages environnementaux examinés dans les contributions scientifiques du sample .....	18
Figure 4. Techniques d'évaluation des émissions.....	23
Figure 5. Emissions de CO2 relatives aux différents carburants alternatifs .....	27
Figure 6. Emissions de NOx relatives aux différents carburants alternatifs .....	27
Figure 7. Utilisation du GNL comme carburant pour la propulsion marine: implications du type de moteur sur l'impact environnemental produit en termes de NOx.....	28
Figure 8. Comparaison des émissions liées aux différents carburants.....	28
Figure 9. Arbre décisionnel pour l'évaluation des émissions des activités navales.....	33
Figure 10: Logique refitting pour l'identification de la flotte "peers HFO" par rapport à la flotte GNL .....	35
Figure 11: Flotte GNL active et en ordre .....	36
Figure 12: Profils techniques des navires propulsés à GNL et relatifs "peers HFO" .....	37
Figure 13: Profils techniques des navires "peers HFO".....	37
Figure 14: processus méthodologique de la méthode "peers HFO" basé sur la consommation annuelle totale.....	41
Figure 15: processus méthodologique du méthode "peers HFO" basé sur la consommation miles annuelle.....	43

## 1. Finalità del documento e inquadramento nell'ambito del progetto SIGNAL.

Le projet INTERREG Italie-France Marittimo “Strategie transfontallere per la valorizzazione del Gas NATurale Liquido” (Acronyme SIGNAL) vise à définir un système intégré de distribution de GNL dans les cinq territoires partenaires concernés (Liguria, Toscana, Sardegna, Corse et Région PACA), qui, à ce jour, sont toujours unies par un manque relatif d’infrastructures et facilities pour le stockage et le bunkering de GNL dans le cadre maritime-portuaire, capables d’assurer l’approvisionnement des navires et des transports de marchandises lourds avec origine et destination de/vers les ports de la zone cible.

Le projet vise non seulement à répondre au gap décrit ci-dessus, en supportant les policy maker dans la définition des plans stratégiques et des plans de développement conformes à la nouvelle réglementation sectorielle, mais également à supporter les territoires cibles caractérisés par des réseaux de méthane réduits ou absents, afin de transformer l’opportunité offerte par le GNL en valeur ajoutée pour les collectivités locales, et réduire les émissions polluantes produites par le secteur des transports dans le cadre territoriale considérée par le projet<sup>1</sup>. Le projet, en effet, a comme but de contribuer à la réduction des émissions de SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, PM, etc. et donc à l’amélioration de la durabilité des activités industrielles et commerciales dans le cadre maritime-portuaire par une plus grande utilisation du GNL à l’intérieure des régions de la zone de coopération.

Les trois Composantes d’Exécution (T) qui caractérisent ce projet sont les suivants :

- T1 “Plan du réseau d’approvisionnement”,
- T2 “Plan de localisation des sites de stockage de GNL dans les ports commerciaux”,
- T3 “Plan du réseau de distribution et de transport de GNL dans le territoire”.

La Composante T1, qui vise à rendre le réseau maritime de transport de GNL dans la zone plus efficace en définissant un plan intégré pour la gestion de l’approvisionnement par mer, comprend l’**Activité T1.5 “Analyse what-if pour le réseau maritime”** qui a pour objectif la définition des exigences du système, l’analyse du scénario de mise en place du réseau et la réalisation de : l’analyse cout-bénéfice et l’évaluation des bénéfice pour l’environnement. Sous ce profil, le formulaire prévoit que P1 doit coordonner et développer l’activité avec tous les autre partenaires, P5 analyse les caractéristiques des acteurs impliqués dans le système et évalue leur intégration dans le scénario de réseau et P6 évalue les bénéfices pour l’environnement associé au scénario prévu.

---

<sup>1</sup> Le projet SIGNAL est en effet financé à valoir sur le II Avis Interreg Maritime ITA-FRA 1420 dans l’Axe prioritaire 3 – Amélioration de la connexion des territoires et de la durabilité des activités portuaires et dans le cadre de l’objectif spécifique 7C2 – Améliorer la durabilité des activité portuaires commerciales contribuant à la réduction des émissions de carbone. Le projet de la durée de 30 mois implique les partenaires de tous les territoires de la zone cible comme suit: Région Autonome de Sardegna (P1, Chef de file de projet), Centralabs (P2), Office des Transports de la Corse (P3), Autorité de Système Portuaire du Mar Tirreno Settentrionale (P4), Chambre de Commerce et d’Industrie du Var (P5), Université des Etudes de Genova (P6) et Région Liguria (P7).

En ce qui concerne l'activité et le produit susmentionnés, l'implication du partenaire P& (UNIGE) a été répartie entre les deux composantes CIELI (Centro Italiano di Eccellenza sulla Logistica, i Trasporti e le Infrastrutture dell'Università degli Studi di Genova) et DIME (Dipartimento di Ingegneria Meccanica, energetica, gestionale e dei trasporti dell'Università degli Studi di Genova) comme indiqué par le Chef de file de projet RAS.

En particulier, les activités de recherche du CIELI en ce qui concerne l'activité 1.5 et le produit 1.5.1 qui font l'objet de ce rapport concernent l'estimation des bénéfices environnementaux possibles liés à transition de carburants traditionnels vers solutions GNL pour la propulsion marine dans les territoires cibles. Le produit, donc, part des résultats du projet TDI RETE-GNL en relation avec l'estimation de la demande maritime de GNL et de l'amélioration supplémentaire réalisé dans le cadre du produit T.1.3.2 de SIGNAL afin de quantifier les différents bénéfices environnementaux avec référence à différents scénarios de diffusion et de demande de GNL comme définis dans le produit précité T.1.3.2.

## **2. Coûts et avantages environnementaux dérivant de l'utilisation du GNL pour la propulsion navale : Analyse de l'état de l'art.**

Le présent chapitre a comme objectif la définition d'un framework conceptuel finalisé à la catégorisation des possibles coûts et avantages environnementaux qui peuvent dériver de l'utilisation du GNL pour la propulsion navale. L'objectif est d'identifier une taxonomie partagée entre les partenaires de projet en relation aux différents profils environnementaux qui doivent être évalués et quantifiés en référence au projet SIGNAL. Il s'agit donc d'une activité préparatoire à l'analyse empirique réalisée dans les chapitres suivants.

À cet égard, le groupe de travail du CIELI a tout d'abord examiné la principale littérature académique dédiée à l'évaluation des coûts et avantages environnementaux liés à l'utilisation du GNL avec référence à la propulsion navale et a ensuite examiné l'état actuel de l'art en relation aux catégories suivantes de coûts/avantages environnementaux possibles :

1. Oxydes de soufre (*sulphur oxides*) [SO<sub>x</sub>]
2. Oxydes d'azote (*nitrogen oxides*) [NO<sub>x</sub>]
3. Dioxyde de carbone (*carbon dioxide*) [CO<sub>2</sub>]
4. Autres émissions GHG (*other greenhouse gas emissions*)
5. Particules (*particulate material*) [PM] et composés organiques volatils (*Volatile Organic Compounds*) [VOC]
6. Autres polluants (*other pollutants*)

## **2.1. GNL dans le cadre maritime portuaire et avantages environnementaux: analyse de la littérature pertinente**

Afin d'étudier l'état de l'art lié aux connaissances scientifiques sur le potentiel du GNL pour la propulsion marine en termes de réduction de l'impact environnemental (réduction à zéro des émissions de SO<sub>x</sub>, forte réduction des émissions de NO<sub>x</sub>, réduction modérée des émissions de CO<sub>2</sub> et réduction jusqu'à 90% des particules), une littérature review a été réalisée, liée à l'utilisation par les compagnies de shipping de la green solution "GNL" et aux avantages environnementaux qui en découlent. Il s'agit d'une thématique particulièrement importante pour les armateurs compte tenu de l'intérêt accru des policy makers et communautés locales pour la durabilité des opérations maritimes portuaires: ces trends, en fait, redessinent les stratégies corporate et de business de nombreux opérateurs du secteur qui tentent de développer des logiques de plus en plus "green" dans le cadre de la gestion de leur core business.

À cet effet, du point de vue méthodologique, une procédure de collecte des contributions scientifiques pertinentes pour la "systematic literature review" a été mise œuvre, qui implique une articulation en trois phases : (i) planning, (ii) execution, (iii) reporting, comme suggéré par Tranfield et al. (2003). Dans la phase de planification (i), grâce à l'utilisation du database Scopus d'Elsevier, c'est-à-dire la plus grande base de données d'abstract, citations, notes, dans laquelle des revues scientifiques, livres et conférences sont inclus, des documents académiques et scientifiques publiés dans des revues accréditées internationalement, ont été extraits. Grâce à l'utilisation de 4 layers composées de mots-clés différents, toutes les publications qui ont présenté un objet d'étude en ligne avec l'objet de ce document, c'est à dire l'examen des coûts et bénéfices environnementaux liés à l'utilisation du GNL dans le cadre maritime-portuaire, ont été extraits. La deuxième phase (*execution*, ii), a été à son tour divisée en trois activités : a) définition des critères initiaux de sélection (*definition of initial selection criteria*); b) regroupement des publications par pertinence (*grouping publications by pertinence*); c) analyse et synthèse (*analysis and synthesis*). Ci-après sont présentées les activités en question, puis examinez rapidement les résultats empiriques de la systematic literature review dans la phase de reporting est étayée (iii).

### **2.1.1. Définition des critères initiaux de sélection**

Afin d'identifier les principaux documents scientifiques liés à la thématique en question, 4 layers de recherche ont été définies grâce à l'utilisation de différentes combinaisons de mots clés cohérents avec l'objet d'étude, c'est-à-dire l'utilisation du GNL comme solution green dans le cadre maritime-portuaire, en se concentrant sur les avantages environnementaux réalisables; les mots clés ont été utilisés en relation aux différents filtres de recherche (keywords, abstract, title etc.). En particulier, les suivants layers ont été utilisés:

- **Layer1:** "LNG" AND "maritime OR port OR ship OR shipping" AND "environmental benefits OR environmental impacts" (article title)
- **Layer2:** "LNG" AND "maritime OR port OR ship OR shipping" AND "environmental benefit OR environmental impacts" (article title, abstract and keywords)

- **Layer3:** “LNG” AND “maritime OR port OR ship OR shipping” AND “environmental benefits OR environmental impacts OR sustainability benefits OR green impact” (article title, abstract and keywords)
- Layer4:** “LNG” AND “maritime OR port OR ship OR shipping” AND “environmental benefits OR environmental impacts OR sustainability benefits OR green impact OR benefits OR impact” (article title)

Parmi les 4 layers de recherche, le layer2 a été sélectionnée pour la cohérence avec la thématique en question, ce qui a permis d’extraire 155 articles scientifiques potentiellement pertinents du DB Scopus. Ces derniers sont publiés dans divers revues de standing internationale, comme par exemple: Sustainability, Energy, Journal of Marine Science and Engineering, etc.

### *2.1.2. Regroupement des publications par pertinence*

Les 155 documents identifiés ont été insérés dans un database initiale créée sur excel pour être ensuite examinés en détail afin d’exclure les études incompatibles avec le focus de l’étude. A cette fin, les abstracts de chaque article ont été analysés et, seuls ceux pertinents à la thématique spécifique des coûts et des avantages environnementaux résultant de l’utilisation du GNL comme forme de propulsion ont été sélectionnés. Par conséquent, une base de données de 55 articles potentiellement pertinentes a été réalisée. Enfin, après une analyse minutieuse des documents et après avoir exclu les articles non disponibles via les moteurs de recherche utilisés tels que Google Scholar et Research Gate, le groupe de recherche a décidé d’examiner les 23 articles parfaitement pertinents et non disponibles. L’échantillon final de la systematic literature review se compose donc de 23 articles scientifiques publiés dans des revues avec standing internationale.

### *2.1.3. Analyse et synthèse*

Dans la phase “Analyse et synthèse”, chaque publication appartenant à l’échantillon final a été attentivement étudiée et approfondie par le team de recherche UNIGE-CIELI et tous les profils analytiques considérables ont été mis en évidence: auteurs (authors); titre (title); année de publication (year); source de l’article (source title); abstract; typologie de document (document type); domaine (subject area); thématiques principales (main topic); finalités (aims); principaux résultats (main findings); avantages environnementaux: focus (environmental benefits: focus); avantages environnementaux: cluster (environmental benefits: cluster); indicateurs de performance (key performance indicators); shipping vs port focus; typologie de navire (ship type); typologie de moteur (engine type); couverture géographique en référence à la zone (geographic coverage (area)); couverture géographique en référence au pays (geographic coverage (country)); période temporelle de référence (timeframe).

### *2.1.4. Résultats de la systematic literature review*

Afin d’examiner en détail les résultats scientifiques liés à la literature review réalisée, les Tableau 1, Tableau 2, Tableau 3, Tableau 4, Tableau 5 ci-dessous présentent les principaux résultats des analyses effectuées.

Tableau 1. Literature review: summary (1/5)

Authors	Year	Source title	Main topic	Aims	Environmental benefits: cluster	Key performance indicators	Shipping vs port focus	Ship type	Engine type	Main Findings
Iannaccone T., Landucci G., Tugnoli A., Salzano E., Cozzani V.,	2020	Journal of Cleaner Production	Engineering; Environmental Science	Investigate the expected impact on sustainability of innovative LNG ship fuel systems.	SOx; NOx; CO <sub>2</sub> ; Other GHG emissions; PM/VOC; Other pollutants	Environmental Index (EI); Eutrophication impact indicator (EU); Global Warning impact indicator (GW); Inherent safety index (HI); Human toxicity impact indicator (HT); Engine load factor (LF); Overall Sustainability Index (OSI); Profitability Index (PrI); Rain acidification (RA)	Shipping	Hyperion-class Cruise ship	Gas dual fuel engine; (others with no relation with LNG: MGO engine)	Environmental impacts/benefits
Ancona M.A., Bianchi M., Branchini L., Catena F., et al.	2020	Applied Sciences (Switzerland)	Engineering; Environmental Science	The development of a comprehensive procedure for the thermodynamic design and optimization in order to reduce costs and pollutant emissions.	SOx; NOx; CO <sub>2</sub> ; PM/VOC	Electric energy consumption; compressor volumetric efficiency; Total electric power required; LNG produced mass flow rate;	Shipping/ Port	Ferry boat; RO-RO	Dual fuel engine	Environmental impacts/benefits; Economic/Investment decisions
Hwang S., Jeong B., Jung K., Kim M., Zhou P.,	2019	Journal of Marine Science and Engineering	Engineering; Environmental Science	Understand if LNG, in comparison with MGO, could reduce environmental impacts.	Other GHG emissions; PM/VOC; Other pollutants	CO <sub>2</sub> equivalent; N equivalent; SO <sub>2</sub> equivalent; NMVOC equivalent; PM 2.5 equivalent	Shipping	50k bulk carrier	Gas turbine; (others with no relation with LNG: MGO engine)	Environmental impacts/benefits
Baldi F., Brynolf S., Maréchal F.,	2019	Proceedings of the 32nd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems	Engineering; Environmental Science	Understand what types of ship energy systems will be preferable considering total cost of ownership, and what will be the carbon mitigation cost to achieve the GHG goals.	Other GHG emissions	GHG emissions; CO <sub>2</sub> emissions	Shipping	Handymax; small cruise ship; chemical tanker.	Diesel engines, with MGO; Dual Fuel with MGO, natural gas or methanol	Environmental impacts/benefits; Economic/Investment decisions; Power consumption/Energy efficiency
Barsi D., Costa C., Satta F., Zunino P., Sergeev V.,	2018	MATEC Web of Conferences	Engineering	To define an innovative mini combined cycle suitable to meet the electric and thermal energy needs of a ship prime or auxiliary system.	CO <sub>2</sub>	Methane molar content; Nitrogen molar content; Ethane molar content; Propane molar content.	Shipping	n.a.	n.a.	Power consumption/Energy efficiency; Technical operations/configuration

Source: Nt. traitement.

Tableau 2. Literature review: summary (2/5)

Authors	Year	Source title	Main topic	Aims	Environmental benefits: cluster	Key performance indicators	Shipping vs port focus	Ship type	Engine type	Main Findings
Iannaccone T., Landucci G., Cozzani V.,	2018	Chemical Engineering Transactions	Engineering	The assessment of onshore bunkering configuration for fuel systems with LNG.	SOx; NOx; PM/VOC	KPIs on safety of LNG and IFO systems; Unit potential hazard index (UPI); Unit inherent hazard index (UHI); PI;HI	Shipping/ Port	n.a.	n.a.	Technical operations/configuration
Pasini G., Frigo S., Antonelli M., Berardi M.,	2018	Internal Combustion Engine Division Fall Technical Conference, ICEF 2018	Engineering	To investigate the effect of a liquid methane injection on the performance of a SI engine, compared with classic gaseous injection.	NOx; CO <sub>2</sub> ; Other pollutants	Trapped engine volumetric efficiency (that depends on engine compression ratio and on the polytropic index of the gas); Thermal efficiency; Fuel-air equivalence ratio.	Shipping	n.a.	Spark-ignited (SI) engine ICE; Port-fuel injection, fuelling/co-fuelling diesel engine; Four-stroke cycle engine; CNG-DI engine.	Environmental impacts/benefits; Power consumption/Energetic efficiency; Technical operations
Ammar N.R., Seddiek I.S.,	2017	Ocean Engineering	Engineering; Environmental Science	Study both the environmental and economic effect of the use of SCR, SWS, MGO and LNG option for reducing exhaust emission from ships.	SOx; NOx; CO <sub>2</sub> ; PM/VOC	Emission quantity; Nox emission factor; PM emission factor; CO <sub>2</sub> emission factor; ESO <sub>2</sub> ; CO emission factor; HC emission factor; DFDE emission factor	Shipping	Medium size RO-RO vessels	MAN B&W	Environmental impacts/benefits; Economic/Investment decisions
Nguyen T.-V., Rothuizen E.D., Markussen W.B., Elmegaard B.,	2017	30th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems	Engineering	Evaluating consequences of using a small-scale gas liquefaction plant.	SOx; NOx; CO <sub>2</sub> ; Other GHG emissions; PM/VOC	Compressor isentropic efficiency	Port	n.a.	n.a.	Power consumption/Energetic efficiency;
Pawlak M.,	2015	Solid State Phenomena	Environmental Science	Analyse environmental benefits of LNG-fuelled marine engines as well as the perspectives of the infrastructure's development.	SOx; NOx; CO <sub>2</sub> ; Other GHG emissions; PM/VOC; Other pollutants	n.a.	Shipping	Car ferry, Platform supply vessel, Ro-Ro	Gas turbine; Gas engine; Hybrid diesel-gas systems; Dual fuel-diesel electric engine	Environmental impacts/benefits

Source: *Nt. traitement.*

Tableau 3. Literature review: summary (3/5)

Authors	Year	Source title	Main topic	Aims	Environmental benefits: cluster	Key performance indicators	Shipping vs port focus	Ship type	Engine type	Main Findings
Xu J., Testa D., Mukherjee P.K.,	2015	Ocean Development and International Law	Environmental Science	To examine the regulatory issues in relation to the use of LNG as a marine fuel.	SOx; NOx; CO <sub>2</sub> ; PM/VOC	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	Regulatory results
Brynolf S., Fridell E., Andersson K.,	2014	Journal of Cleaner Production	Environmental Science	To compare the life cycle environmental performance in terms of methane, the energy carrier in LNG, and methanol as marine fuels.	Other GHG emissions	CO <sub>2</sub> emissions; NOx emission	Shipping/ Port	ro-ro	n.a.	Environmental impacts/benefits; Regulatory results
Gaspar H.M., Ehlers S., æsøy V., Erceg S., Balland O., Hildre H.P.,	2014	Proceedings of the International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering - OMAE	Environmental Science	Investigate the current challenges of using LNG fueled ship in Arctic region.	SOx; NOx; CO <sub>2</sub> ; PM/VOC	Energy efficiency design Index (EEDI)	Shipping	Ice-class ship LNG fueled	Gas-Mechanical propulsion; Gas-Electric propulsion; Hybrid propulsion	Environmental impacts/benefits; Regulatory results
Prakash S., Kolluru V.S.,	2014	Proceedings - 7th International Congress on Environmental Modelling and Software: Bold Visions for Environmental Modeling, iEMSs 2014	Engineering; Environmental Science	Understand if the application of a 3-D comprehensive model could make easier the study of physical and chemical impacts on surface waters.	Other pollutants	n.a.	Port	n.a.	n.a.	Technical operations/configuration
Æsøy V., Stenersen D.,	2013	Proceedings of the International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering	Environmental Science	To discuss local and global environmental benefits, technical solutions, safety issues and costs related to distribution and on-board fuel installations.	SOx; NOx; CO <sub>2</sub> ; Other GHG emissions; PM/VOC	Total energy efficiency; Thermal efficiency	Shipping/ Port	Car ferry, Platform supply vessel, Ro-ro ship	Gas engine; (others with no relation with LNG: MDO engine, MGO engine)	Environmental impacts/benefits; Power consumption/Energetic efficiency

Source: Nt. traitement.

Tableau 4. Literature review: summary (4/5)

<i>Authors</i>	<i>Year</i>	<i>Source title</i>	<i>Main topic</i>	<i>Aims</i>	<i>Environmental benefits: cluster</i>	<i>Key performance indicators</i>	<i>Shipping vs port focus</i>	<i>Ship type</i>	<i>Engine type</i>	<i>Main Findings</i>
Burel F., Taccani R., Zuliani N.,	2013	Energy	Environmental Science	Analyze the economic upturn that can result from the use of LNG as fuel and to assess its environmental impact.	SOx; NOx; CO <sub>2</sub>	PM emissions; NOx abatement; CO <sub>2</sub> emissions; SOx reduction; System's efficiency	Shipping	Bulk carriers; RO-RO; Tankers; Cruise	n.a.	Environmental impacts/benefits; Economic/Investment decisions
Burel F., Taccani R., Zuliani N.,	2012	Proceedings of the 25th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization and Simulation of Energy Conversion Systems and Processes	Environmental Science	Analyze the economic upturn that can result from the use of LNG as fuel form merchant ships and assess the effects of its utilization in term of environmental impact.	SOx; NOx; CO <sub>2</sub> ; PM/VOC	SOx, NOx, PM and CO <sub>2</sub> emission	n.a.	RO-RO; tanker ships	Dual fuel diesel	Environmental impacts/benefits; Economic/Investment decisions
Bengtsson S., Andersson K., Fridell E.,	2011	Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment	Environmental Science	To compare the environmental performance from a life cycle perspective of existing or future fossil shipping fuels.	CO <sub>2</sub> ; Other GHG emissions	SOx emission; NOx emission; GHG emission; SO <sub>2</sub> equivalent; PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> equivalent; CO <sub>2</sub> equivalent	Shipping	RO-RO	Spark-ignited gas; dual-fuel diesel	Economic/Investment decisions
Balcombe P., Brierley J., Lweis., Skatvedt L., Speirs., Hawkes A., Staffell I.,	2019	Energy Conversion and Management	Engineering; Environmental Science	To review the different combination of fuels, technologies and policies in order to reduce GHG emission.	SOx; NOx; CO <sub>2</sub> ; Other GHG emissions	Daily fuel use; CO <sub>2</sub> equivalent	Shipping	n.a.	Lean-burn spark ignition; Low pressure dual fuel; High pressure dual fuel; Gas turbine	Environmental impacts/benefits; Economic/Investment decisions; Technical operations/configuration

Source: Nt. traitement.

Tableau 5. Literature review: summary (5/5)

Authors	Year	Source title	Main topic	Aims	Environmental benefits: cluster	Key performance indicators	Shipping vs port focus	Ship type	Engine type	Main Findings
Simmer L., Pfoser S., Aschauer G., Schauer O.	2014	Energy and Sustainability V	Engineering	Identify pioneer customers to define interest and demand for LNG as a fuel.	SOx; NOx; CO <sub>2</sub> ; PM/VOC	CO <sub>2</sub> equivalent	Port	n.a.	n.a.	Market dynamics
Huan T., Hongjun F., Wei L., Guoqiang Z.	2018	Research Gate	Engineering	Investigate various LNG propulsion systems with an application of latest technology.	NOx; Other GHG emissions	Efficiency Design Index (EEDI); Thermal efficiency	Shipping	LNG carrier	Dual fuel diesel electric propulsion; WinGD X-DF; MAN ME-GI; MGO engine; Turbine electric & steam system	Technical operations/configuration
Gritsenko D., Yliskyla-Peuralahti J.	2013	Maritime Studies	Engineering; Environmental Science	Reconstruct the process of SOx emissions reduction in the Baltic region as a complex multi-stakeholder interaction.	SOx; NOx; PM/VOC	Clean Shipping Index (CSI)	Shipping/Port	n.a.	With no relation with LNG: MGO engine, MDO engine	Environmental impacts/benefits; Regulatory results
Geng X., Wen Y., Zhou C., Xiao C.	2017	Sustainability	Engineering; Environmental Science	Analyze the effects of different measures to promote the development of the sustainable ecosystem.	SOx; CO <sub>2</sub> ; Other GHG emissions; PM/VOC	Emission Factor	Shipping/Port	n.a.	n.a.	Environmental impacts/benefits; Regulatory results; Market dynamics

Source: Nt. traitement.

En particulier, les aspects importants aux fins du rapport T1.5.1 du projet SIGNAL sont examinés en détail et notamment:

- Authors;
- Year;
- Source title;
- Main topic (conçu comme une approche théorique dominante);
- Aims;
- Environmental benefits;
- Key performance indicators;
- Shipping vs port focus;
- Ship type;
- Engine type;
- Main findings.

En ce qui concerne les profils spatiaux et temporels des publications scientifiques dédiés aux coûts et avantages environnementaux attribuables au GNL, les zones géographiques étudiées et les principaux ports pris en considération dans les publications examinées ainsi que l'année de publication des études en question ont été examinés, afin de comprendre l'évolution temporelle du know-how scientifique par rapport aux thématiques détaillées.

Tout d'abord, il est important de mettre en évidence la couverture spatiale des documents inclus dans l'échantillon en identifiant les principales zones considérées. Les documents adoptent souvent une perspective internationale (10 articles sur 23 au total, soit 43,47%, ne font pas référence à une zone géographique spécifique mais tiennent compte du contexte international), tandis qu'une série de contributions académiques privilégie une orientation géographique régionale. En ce sens, des études dédiées à la Chine (port de Qingdao) (Geng X. et al., 2017), à l'Italie (Ancona et al., 2020) et à la Norvège (Æsøy et Stenersen, 2013) sont mises en évidence. En outre, certains documents se réfèrent uniquement aux Emission Control Areas (ECA) et/ou aux Sulfur Emission Control Areas (SECA), à savoir aux zones soumises à des contrôles plus stricts afin de minimiser les émissions dans l'atmosphère des navires.

En ce qui concerne le timing des publications, la Figure 1 qui indique la distribution temporelle des dates de publication des contributions scientifiques, met en évidence l'importance croissante de la thématique du GNL, en référence aux bénéfices environnementaux réalisables dans le cadre maritime dans la dernière décennie. Tous les documents analysés sont, en effet, publiés depuis 2011, dont plus de la moitié au cours des 4 dernières années (52,17%).

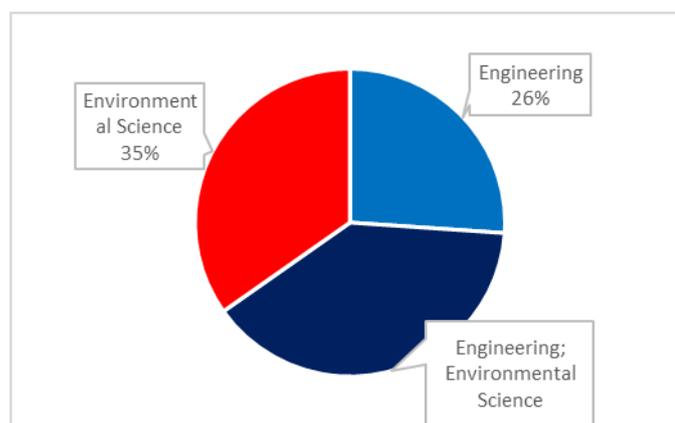
Figure 1. Distribution temporelle du sample



Source: Nt. traitement.

Pour chaque article appartenant à l'échantillon, l'approche théorique et méthodologique a ensuite été identifiée. L'Engineering et l'Environmental Science représentent les principales approches théoriques caractérisant les études menées sur la thématique. Comme le montre la Figure 2 ci-dessous, le 26% de l'échantillon (6 articles sur 23 au total) analyse la thématique du GNL, dans le cadre maritime imputable à l'ingénierie, concentrant les analyses empiriques sur les aspects techniques, mécanique et informatique. Le 35% de l'échantillon (8 articles sur 23 au total) se concentrent plutôt sur les profils environnementaux, compte tenu de leur coûts/avantages. Enfin, 39% de l'échantillon (9 articles) considère conjointement les perspectives environnementales et techniques, adoptant ainsi une approche holistique du sujet.

Figure 2. Systematic literature review : approche théorique adoptée



Source: Nt. traitement.

Le profil central de l'analyse de la littérature réalisée est représenté par la typologie d'avantages environnementaux dérivant de l'utilisation du GNL dans le cadre maritime qui ont été examinés et évalués dans le cadre de chaque publication scientifique, afin de vérifier évidemment l'état de l'art sur le sujet en question et définir des paramètres partagés au niveau académique afin de quantifier les impacts environnementaux du GNL dans le cadre maritime-portuaire

conformément aux dispositions du formulaire en relation avec le produit T.1.5.1 du projet SIGNAL. A cet effet, les coûts et avantages ont donc été regroupés en 6 catégories (cluster):

1. Oxyde de soufre (*Sulphur Oxides*) [SO<sub>x</sub>];
2. Oxyde d'azote (*Nitrogen Oxides*) [NO<sub>x</sub>];
3. Dioxyde de carbone (*carbon dioxide*) [CO<sub>2</sub>];
4. Autres émissions GHG (*other greenhouse gas emissions*);
5. Particules (*Particulate Material*) [PM] et composés organiques volatils (*Volatile Organic Compounds*) [VOC];
6. Autres polluants (*other pollutants*).

Le Tableau 6 présente pour chacune des 23 publications examinées les différentes catégories d'avantages dérivant de l'utilisation du GNL comme source alternative de propulsion navale qui ont été approfondies dans le cadre des analyses. On peut voir que chaque document a tendance à se concentrer sur différentes catégories d'avantages environnementaux, avec une certaine prévalence des cluster suivants : réduction des émissions de soufre, d'azote et de CO<sub>2</sub> (Burel et al., 2013), réduction de NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> et particules et composés organiques volatils (Gritsenko et al., 2013) etc. La suivante Figure 3 met en évidence l'importance de chaque catégorie d'avantages environnementaux : la réduction des émissions de NO<sub>x</sub> et de CO<sub>2</sub> semble être les profils les plus étudiés, probablement aussi en raison de l'existence de preuves scientifiques pas toujours concordées notamment en relation aux émissions de CO<sub>2</sub>. De plus, de nombreuses contributions se concentrent sur les émissions de SO<sub>x</sub>, PM/VOC, tandis qu'un nombre moins important prend également en compte les autres émissions de GHG. Cinq documents traitent également des avantages tels que la réduction des émissions nocives résiduelles telles que, par exemple, les impacts physiques et chimiques.

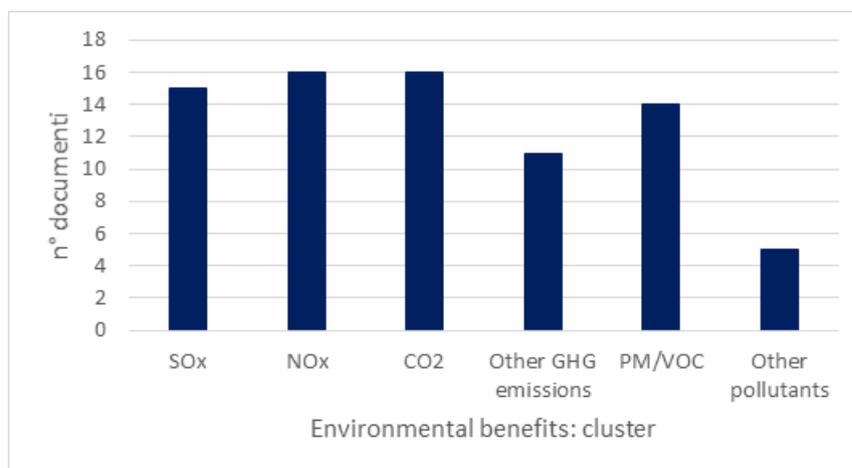
*Tableau 6. Avantages environnementaux : cluster*

<i>Authors</i>	<i>Environmental benefits: cluster</i>
Iannaccone T. et al.	SO <sub>x</sub> ; NO <sub>x</sub> ; CO <sub>2</sub> ; Other GHG emissions; PM/VOC; Other pollutants
Ancona M.A. et al.	SO <sub>x</sub> ; NO <sub>x</sub> ; CO <sub>2</sub> ; PM/VOC
Hwang S. et al.	Other GHG emissions; PM/VOC; Other pollutants
Baldi F. et al.	Other GHG emissions
Barsi D. et al.	CO <sub>2</sub>
Iannaccone T. et al.	SO <sub>x</sub> ; NO <sub>x</sub> ; PM/VOC
Pasini G. et al.	NO <sub>x</sub> ; CO <sub>2</sub> ; Other pollutants
Ammar N.R. et al.	SO <sub>x</sub> ; NO <sub>x</sub> ; CO <sub>2</sub> ; PM/VOC
Nguyen T.V. et al.	SO <sub>x</sub> ; NO <sub>x</sub> ; CO <sub>2</sub> ; Other GHG emissions; PM/VOC
Pawlak M.	SO <sub>x</sub> ; NO <sub>x</sub> ; CO <sub>2</sub> ; Other GHG emissions; PM/VOC; Other pollutants
Xu J. et al.	SO <sub>x</sub> ; NO <sub>x</sub> ; CO <sub>2</sub> ; PM/VOC
Brynnolf S. et al.	Other GHG emissions
Gaspar H.M. et al.	SO <sub>x</sub> ; NO <sub>x</sub> ; CO <sub>2</sub> ; PM/VOC
Prakash S. et Kolluru V.S.,	Other pollutants
Æsøy V. et Stenersen D.	SO <sub>x</sub> ; NO <sub>x</sub> ; CO <sub>2</sub> ; Other GHG emissions; PM/VOC
Burel F. et al.	SO <sub>x</sub> ; NO <sub>x</sub> ; CO <sub>2</sub>
Burel F. et al.	SO <sub>x</sub> ; NO <sub>x</sub> ; CO <sub>2</sub> ; PM/VOC
Bengtsson S. et al.	CO <sub>2</sub> ; Other GHG emissions
Balcombe P. et al.	SO <sub>x</sub> ; NO <sub>x</sub> ; CO <sub>2</sub> ; Other GHG emissions
Simmer L. et al.	SO <sub>x</sub> ; NO <sub>x</sub> ; CO <sub>2</sub> ; PM/VOC

Huan S. et al.	NOx; Other GHG emissions
Gritsenko D. et al.	SOx; NOx; PM/VOC
Geng X. et al.	SOx; CO <sub>2</sub> ; Other GHG emissions; PM/VOC

Source: Nt. traitement.

Figure 3. Avantages environnementaux examinés dans les contributions scientifiques du sample



Source: Nt. traitement.

La literature review réalisée a également permis d'examiner rapidement le type d'indicateurs de performance sur lesquels les académiques et praticioners du secteur ont tendance à concentrer leur attention. Sur ce profil, les indicateurs les plus fréquemment pris en compte sont l'Environmental Index<sup>2</sup> (EI), l'Eutrophication Impact Indicator<sup>3</sup>, le Profitability Index<sup>4</sup>, et surtout une pluralité d'indicateurs d'émissions de NOx, GHG, CO<sub>2</sub> etc. indispensable afin de monitorer les avantages liés à l'utilisation du GNL.

L'analyse a également permis de distinguer les contributions scientifiques spécifiquement dédiées à l'analyse de la perspective "navale" (shipping) à l'étude du sujet, par rapport à celles orientées sur les ports (port). Sur les 23 paper inclus dans l'échantillon, 12 ont une orientation exclusivement navale et 6 se concentrent à la fois sur le côté shipping et sur le côté portuaire. Parmi ces documents (18 sur 23 au total) il a été possible d'analyser plus en détail des données liées aux profils suivants : *ship type* (typologie du navire en question); *engine type* (typologie de moteur du navire en question).

Tableau 7. Ship type ed engine type du sample

<i>Ship type/Engine type</i>	<i>n° documenti</i>
<b>50k bulk carrier</b>	<b>1</b>
Gas turbine;	1
<b>Car ferry, Platform supply vessel, Ro-Ro</b>	<b>1</b>

<sup>2</sup> Indice de performance environnementale qui quantifie numériquement la performance environnementale d'un pays ou les effets d'une politique environnementale.

<sup>3</sup> Indicateur d'impact d'eutrophisation, c'est-à-dire le phénomène d'accumulation et de redondance d'éléments tels que le soufre, l'azote et le phosphore.

<sup>4</sup> Indice de rentabilité, c'est-à-dire le rapport investissement de profit et rapport investissement de valeur.

Gas turbine; Gas engine; Hybrid diesel-gas systems; Dual fuel-diesel electric engine	1
<b>Bulk carriers; RO-RO; Tankers; Cruise</b>	<b>1</b>
n.a.	1
<b>Car ferry, Platform supply vessel, Ro-ro ship</b>	<b>1</b>
Gas engine	1
<b>Ferry boat; RO-RO</b>	<b>1</b>
Dual fuel engine	1
<b>Handymax; small cruise ship; chemical tanker</b>	<b>1</b>
Diesel engines, with MGO; Dual Fuel with MGO, natural gas or methanol	1
<b>Hyperion-class Cruise ship</b>	<b>1</b>
Gas dual fuel engine	1
<b>Ice-class ship LNG fuelled</b>	<b>1</b>
Gas-Mechanical propulsion; Gas-Electric propulsion; Hybrid propulsion	1
<b>LNG carrier</b>	<b>1</b>
Dual fuel diesel electric propulsion; WinGD X-DF; MAN ME-GI; MGO engine; Turbine electric & steam system	1
<b>Medium size RO-RO vessels</b>	<b>1</b>
MAN B&W	1
<b>n.a.</b>	<b>6</b>
<b>ro-ro</b>	<b>2</b>
n.a.	1
Spark-ignited gas; Dual-fuel diesel	1
<b>Total</b>	<b>18</b>

*Source: Nt. traitement.*

Enfin, en continuant l'analyse de la littérature review réalisée, les principaux résultats obtenus se concentrent sur les domaines suivants : Environmental impacts/benefits; Economic/Investment decisions; Power consumption/Energetic efficiency; Technical operations/configuration; Regulatory results, Market dynamics. Le Tableau 8 présente, pour chaque article inclus dans le sample, les principales conclusions.

*Tableau 8. Main findings réalisés les contributions scientifiques inclus dans le sample*

<i>Authors</i>	<i>Main Findings</i>
Iannaccone T. et al.	Environmental impacts/benefits
Ancona M.A. et al.	Environmental impacts/benefits; Economic/Investment decisions
Hwang S. et al.	Environmental impacts/benefits
Baldi F. et al.	Environmental impacts/benefits; Economic/Investment decisions; Power consumption/Energetic efficiency
Barsi D. et al.	Power consumption/Energetic efficiency; Technical operations/configuration
Iannaccone T. et al.	Technical operations/configuration
Pasini G. et al.	Environmental impacts/benefits; Power consumption/Energetic efficiency; Technical operations/configuration
Ammar N.R. et al.	Environmental impacts/benefits; Economic/Investment decisions
Nguyen T.V. et al	Power consumption/Energetic efficiency;
Pawlak M.	Environmental impacts/benefits

Xu J. et al.	Regulatory results
Brynnolf S. et al.	Environmental impacts/benefits; Regulatory results
Gaspar H.M. et al.	Environmental impacts/benefits; Regulatory results
Prakash S. et al.	Technical operations/configuration
Kolluru V.S., Æsøy V. et al.	Environmental impacts/benefits;
Stenersen D.	Power consumption/Energetic efficiency
Burel F. et al.	Environmental impacts/benefits; Economic/Investment decisions
Burel F. et al.	Environmental impacts/benefits; Economic/Investment decisions
Bengtsson S. et al.	Economic/Investment decisions
Balcombe P. et al.	Environmental impacts/benefits; Economic/Investment decisions; Technical operations/configuration
Simmer L. et al.	Market dynamics
Huan S. et al.	Technical operations/configuration
Gritsenko D. et al.	Environmental impacts/benefits; Regulatory results
Geng X. et al.	Environmental impacts/benefits; Regulatory results; Market dynamics

*Source: Nt. traitement.*

Les paragraphes suivants analysent les résultats scientifiques des publications examinées en référence à chaque groupe d'avantage environnementaux dérivant de l'utilisation du GNL dans le cadre maritime, comme indiqué précédemment : SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, PM/VOC, Other GHG emissions; Other pollutants représente une catégorie résiduelle qui ne nécessite pas d'analyse détaillée.

## 2.2. Oxydes de soufre (*sulphur oxides*)

La réglementation internationale de plus en plus stricte relative aux émissions a entraîné l'adoption de stratégies visant au respect des limites imposées en ce qui concerne les activités opérationnelles des navires soit en haute mer, soit dans les zones côtières ainsi que lors de l'arrêt/transit au port. L'une des solutions les plus prometteuses dans un court délai est représentée par l'utilisation du GNL comme carburant marin. En particulier, en ce qui concerne les émissions de soufre, des limites plutôt strictes sont actuellement envisagées par rapport à la teneur de cet élément dans le carburant. À partir du 1<sup>er</sup> janvier 2020 la teneur en soufre doit être inférieure à 0,5% m/m<sup>5</sup> (Xu et al. 2015).

En ce qui concerne les émissions de SO<sub>x</sub>, il convient de souligner que le GNL ne contient pas de soufre, c'est pourquoi ils semblent théoriquement être égal à zéro. Dans le cas d'un moteur dual fuel, qui présente donc une phase d'induction avec oil-fuels, la réduction des émissions est en tous cas égale à 90-99% par rapport au HFO, selon les résultats scientifiques répandus dans la doctrine (Burel et al. 2013).

En comparant 3 typologies de moteurs à GNL, à savoir : le dual fuel à basse pression, le dual fuel à haute pression et le moteur à gaz naturel à allumage par étincelles (*spark-ignited gas engine*) avec un moteur MGO conventionnel, dans l'étude menée par Iannaccone et al. (2020) 4 KPIs environnementaux ont émergé, les 3 premiers liés aux émissions de SO<sub>x</sub> et NO<sub>x</sub> et le dernier, qui sera examiné au le paragraphe 2.4., relatif au CO<sub>2</sub>. En ce qui concerne les 3

<sup>5</sup> Cette unité de mesure indique le pourcentage de masse sur masse d'une solution, correspondant aux grammes de soluté dissous dans 100 grammes de solution.

premiers, appelés “rain acidification”, “human toxicity” et “eutrophication”, ils ont été utilisés précisément pour analyser les pluies acides, la toxicité pour l’homme et la présence de nutriment, déterminés par les SOx et NOx, dans un environnement spécifique. Les résultats de l’analyse menée par les auteurs susmentionnés montrent que par rapport au premier KPI, la solution technologique la plus performante en termes environnementaux est représentée par le *spark-ignited gas engine*, suivi par dual fuel haute pression (Iannaccone et al. 2020).

### **2.3. Oxydes d’azote (nitrogen oxides)**

Les émissions de NOx, toujours selon l’étude menée par Iannaccone et al. (2020), apparaissent nettement inférieures dans un moteur dual fuel à basse pression, par rapport à d’autres types de carburant. Les émissions de NOx dépendent considérablement de la température de combustion et augmentent avec l’augmentation de celle-ci. L’utilisation de moteurs GNL a entraîné une réduction des émissions d’environ 70-90% par rapport aux moteurs HFO. Selon l’étude de Balcombe et al. (2019) grâce au processus de combustion mis en œuvre dans les moteurs dual fuel, il est possible d’obtenir une réduction des émissions de Nox égale à 80-85% par rapport aux moteurs HFO.

En comparant les émissions produites par les moteurs GNL et MGO, l’étude réalisée par Hwang et al. (2019), permet d’identifier certains des principaux facteurs d’émission liés à l’utilisation de différentes solutions technologiques et carburants marins. Eu égard au Nox, les facteurs d’émission sont égaux à  $1,4 \times 10^{-2}$  Kg/Kg de carburant consommé, dans le cas des moteurs GNL, et égaux à  $8,7 \times 10^{-2}$  Kg/Kg de carburant consommé, dans le cas au de moteurs MGO. Le GNL met en évidence donc une réduction d’environ 84% par rapport aux moteurs à carburant marin.

### **2.4. Dioxyde de carbone (carbon dioxide)**

La plupart des contributions scientifiques examinées montrent que grâce à l’utilisation de moteurs GNL, il est possible d’obtenir une efficacité significative d’un point de vue environnemental également en termes d’émissions de CO<sub>2</sub>. Les émissions de ce composé sont en effet réduites d’environ 20 à 30% par rapport aux moteurs HFO et MDO (Burel et al 2013). Cette donnée est à attribuer à la composition du gaz naturel, qui présente une teneur en hydrogène plus élevée.

En ce qui concerne la comparaison entre les moteurs GNL et les moteurs MGO, dans l’étude de Hwang et al. (2019) il ressort une réduction de 14,3% des émissions de CO<sub>2</sub> des moteurs GNL par rapport aux moteurs MGO. En particulier, l’étude réalisée en utilisant comme champ d’investigation empirique une bulk carrier de 50.000 DWT, a révélé un facteur d’émission de 2,75 kg CO<sub>2</sub> pour chaque kg de carburant consommé dans le cas du GNL, contre le facteur MGO égal à 3.21kg de CO<sub>2</sub> (Hwang et al. 2019).

Iannaccone et al. (2020) dans leur étude qui compare les typologie de moteurs GNL avec un moteur MGO grâce à l’utilisation de 4 KPIs, pour comparer le performance en termes d’émissions de CO<sub>2</sub>, ont utilisé comme indicateur de performance le Global Warming Impact Indicator: les résultats obtenus ont montré que le moteur le plus efficace du point de vus environnemental est le dual fuel haute pression.

Le Tableau 9 ci-dessous montre les indicateurs non normalisés obtenus à partir de l'analyse réalisée par Iannaccone et al. (2020).

Tableau 9. Summary of non-normalized values for level 1 impact indicators and KPIs

Indicator	Low pressure dual fuel	High pressure dual fuel	Lean burn spark ignition	MGO Fuel System	Unit
<b>Environment</b>					
<b>GW</b>	2.49 x 10 <sup>7</sup>	2.13 x 10 <sup>7</sup>	2.90 x 10 <sup>7</sup>	3.30 x 10 <sup>7</sup>	kg CO <sub>2</sub> eq./y
<b>RA</b>	3.06 x 10 <sup>4</sup>	4.88 x 10 <sup>4</sup>	2.24 x 10 <sup>4</sup>	8.95 x 10 <sup>4</sup>	kg SO <sub>2</sub> eq./y
<b>HT</b>	7.43 x 10 <sup>4</sup>	1.18 x 10 <sup>5</sup>	5.45 x 10 <sup>4</sup>	1.59 x 10 <sup>5</sup>	kg 1,4-dichlorobenzene eq./y
<b>EU</b>	7.59 x 10 <sup>3</sup>	1.23 x 10 <sup>4</sup>	5.77 x 10 <sup>3</sup>	1.60 x 10 <sup>4</sup>	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
<b>Economic</b>					
<b>Prl</b>	206.68	211.22	207.90	298.20	M€
<b>Inherent safety</b>					
<b>HI</b>	17.92	27.26	17.26	16.75	m <sup>2</sup> /y

Source: Nt. traitement.

## 2.5. PM & VOC

Parmi les avantages environnementaux liés à l'utilisation du GNL, la littérature académique et les analyses empiriques réalisées à ce jour ont mis en évidence également la possibilité de réaliser une réduction des particules fines, appelée PM, égale à environ 90% par rapport aux moteurs HFO et environ 50% par rapport aux différents typologie de carburants plus nobles (*Biofuel, Methanol, Hydrogen with marine fuel cells*). La production d'émissions de PM est par conséquent très basse ou presque totalement éliminée (Brynnolf et al. 2014).

En termes de facteurs d'émission, obtenus à partir de l'étude précitée de Hwang et al. (2019), la preuve empirique montre que l'utilisation de GNL dans le cadre maritime portuaire détermine un facteur d'émission égal à 1,8x10<sup>-4</sup> Kg de PM par kg de carburant consommé tandis que pour les moteurs MGO le même facteur d'émission est égal à 9,7x10<sup>-4</sup> Kg de PM pour kg de carburant consommé.

En ce qui concerne le VOC, à savoir les Composés Organiques Volatils, au contraire les facteurs d'émissions dans l'étude de Hwang et al. (2019) sont calculés respectivement en 3x10<sup>-3</sup> Kg de VOC par Kg de carburant consommé pour le GNL et 3,08x10<sup>-3</sup> en cas d'utilisation de MGO.

## 2.6. Other GHG emissions

Le même avantage qui conduit à une réduction des émissions de NO<sub>x</sub>, à savoir que lorsque la température baisse cela implique également un trade-off en termes d'émission de CH<sub>4</sub>, qui augmentent à la place. De ce point de vue, il est nécessaire de souligner que l'augmentation de la température, en revanche, conduit à une diminution des c.d. methane slip, c'est-à-dire une réduction des émissions de CH<sub>4</sub>. Grâce à l'utilisation de moteurs dual fuel haute pression, les émissions de méthane représenteraient environ le 0,2% du throughput, mais conduiraient à la

non-conformité aux normes imposées par le Tier 3<sup>6</sup>, en termes des émissions de NO<sub>x</sub> (Balcombe et al. 2019).

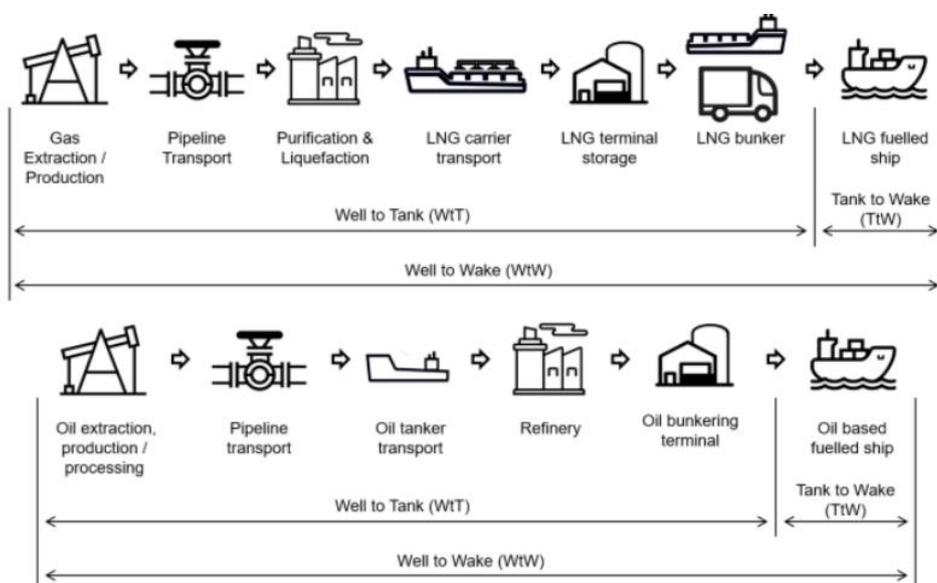
Les émissions de CH<sub>4</sub> sont en moyenne plus élevées lors de l'utilisation de moteurs GNL, compte tenu donc à la fois les moteurs dual fuel et à spark-ignited gas, par rapport à d'autres types de moteurs. Cela dépend de méthane slip émis par les moteurs, mais cette donnée relative aux fuites de méthane est à relier en réalité également à la gestion de toutes les phases du cycle de vie du carburante, allant donc à analyses l'ensemble de la chaîne de production, ce qui dans le cas du GNL est plus critique (Bengtsson et al. 2011). Il est donc important de souligner l'importance de limiter les pertes de méthane afin de rendre le GNL avantageux par rapport aux autres typologies de carburant.

### 2.7. Méthodologies utilisées dans les articles et facteurs d'émission associées

En ce qui concerne la méthodologie appliquée dans le cadre des articles examinés, 3 techniques d'analyse ont été révélés : Well-to-Tank (WtT), Well-to-Wake (WtW), Tank-to-Wake (TtW).

La Figure 4 résume les méthodologies WtT, TtW e WtW. Le terme Tank-to-Wake, aussi appelé Tank-to-Propeller, décrit la prise en examen du cycle des émissions liées à l'utilisation de carburant dans le véhicule et les émissions générées pendant la navigation; Well-to-Tank fait plutôt référence au cycle qui va de l'extraction du carburant et de sa production au ravitaillement du navire. La somme de deux techniques mentionnées ci-dessus constitue la Well-to-Wake.

Figure 4. Techniques d'évaluation des émissions



Source: Hwang et al. (2019)

Enfin, à titre d'exemple et d'explication, le Tableau 10 présente les facteurs d'émission utilisés dans chaque analyse, avec le document de référence correspondant.

<sup>6</sup> Il est fait référence en particulier aux standards prévus par le règlement relatif à l'annexe VI de la Marpol, avec référence aux émissions dans les zones ECA, avec des limites plus strictes que le TIER 2.

*Tableau 10. Synthèse des facteurs d'émission utilisés dans les articles avec spécification de la méthodologie appliquée*

Year	Paper	Methodology	Emission Factor	Unit	HFO	HFO (Changes with Scrubber)	MGO	MGO (Changes with SCR)	LNG	LNG (Alternative Data)	GTL Fuel	GTL Fuel (Changes with SCR)	LBG	Methanol (natural gas)	Methanol (biomass)			
2011	Bengtsson et al.	Well-to-Wake	CH <sub>4</sub>	g/Mj fuel	0.0005	n.a.	2.77 x 10 <sup>-3</sup>	n.a.	7.83 x 10 <sup>-3</sup>	0.56	0.0005	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.			
			CO	g/Mj fuel	0.13	n.a.	1.6 x 10 <sup>-4</sup>	n.a.	1.08 x 10 <sup>-4</sup>	0.24	0.13	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.		
			CO <sub>2</sub>	g/Mj fuel	78	n.a.	8.7 x 10 <sup>-2</sup>	n.a.	1.4 x 10 <sup>-2</sup>	n.a.	74	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
			N <sub>2</sub> O	g/Mj fuel	0.004	n.a.	0.004	n.a.	-	-	0.004	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
			NH <sub>3</sub>	g/Mj fuel	0.0003	n.a.	0.0003	0.0029	-	-	0.0003	0.0029	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
			NMVOG	g/Mj fuel	0.06	n.a.	0.06	n.a.	-	0.10	0.06	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
			NO <sub>x</sub>	g/Mj fuel	1.6	n.a.	1.5	0.23	0.17	0.36	1.5	0.23	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
			PM <sub>10</sub>	g/Mj fuel	0.093	0.071	0.034	n.a.	0.009	0.004	0.034	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
SO <sub>2</sub>	g/Mj fuel	0.5	0.05	0.05	n.a.	0	0	0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.			
2014	Brynolf et al.	Tank-to-Wake	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	g/Mj fuel	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.073	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.		
			C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	g/Mj fuel	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.019	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
			CH <sub>4</sub>	g/Mj fuel	0.00045	n.a.	n.a.	n.a.	0.71	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.79	n.a.	n.a.	n.a.	
			CO	g/Mj fuel	0.13	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
			CO <sub>2</sub> (biomass origin)	g/Mj fuel	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	52	n.a.	69	
			N <sub>2</sub> O	g/Mj fuel	0.0035	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
			NH <sub>3</sub>	g/Mj fuel	0.0003	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
			NMVOG	g/Mj fuel	0.056	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
			NO <sub>x</sub>	g/Mj fuel	1.6	n.a.	n.a.	n.a.	0.11	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.11	0.28	0.28	
			PM <sub>10</sub>	g/Mj fuel	0.093	n.a.	n.a.	n.a.	0.0043	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.0043	0.0043	0.0043	
			SO <sub>2</sub>	g/Mj fuel	0.69	n.a.	n.a.	n.a.	0.00056	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.00058	n.a.	n.a.	
			Well-to-Tank	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	g/Mj fuel	0.0037	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.0057	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.000043	0.00044	0.000050
		C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>		g/Mj fuel	0.0067	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.027	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.000077	0.00025	0.00014	
		CH <sub>2</sub> O		g/Mj fuel	5.6 x 10 <sup>-6</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	6.2 x 10 <sup>8</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	6.2 x 10 <sup>8</sup>	0.0028	1.2 x 10 <sup>-7</sup>	
		CH <sub>4</sub>		g/Mj fuel	0.072	n.a.	n.a.	n.a.	0.033	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.18	0.011	0.042	
		CO		g/Mj fuel	0.0092	n.a.	n.a.	n.a.	0.0027	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.0096	0.0063	0.025	
		CO <sub>2</sub> (biomass origin)		g/Mj fuel	-	n.a.	-	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	97	-	-	
		CO <sub>2</sub> (fossil origin)		g/Mj fuel	6.7	n.a.	n.a.	n.a.	8.3	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	27	20	17	
		N <sub>2</sub> O		g/Mj fuel	0.00016	n.a.	n.a.	n.a.	0.00017	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.00033	0.00029	0.00022	
		NH <sub>3</sub>		g/Mj fuel	0.000074	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	7.7 x 10 <sup>-7</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.000083	5.1 x 10 <sup>-6</sup>	0.000051	
		NMVOG		g/Mj fuel	0.000082	n.a.	n.a.	n.a.	0.00069	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.0087	0.011	0.014	
		NO <sub>x</sub>		g/Mj fuel	0.021	n.a.	n.a.	n.a.	0.0095	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.053	0.046	0.056	
		PM <sub>10</sub>		g/Mj fuel	0.0011	n.a.	n.a.	n.a.	0.00032	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.018	0.00057	0.011	
		SO <sub>2</sub>	g/Mj fuel	0.039	n.a.	n.a.	n.a.	0.00083	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.073	0.0021	0.048		
2019	Hwang et al.	Tank-to-Wake	CH <sub>4</sub>	Kg/Kg fuel	n.a.	n.a.	6.0 x 10 <sup>-5</sup>	n.a.	5.0 x 10 <sup>-2</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.		
			CO	Kg/Kg fuel	n.a.	n.a.	2.77 x 10 <sup>-3</sup>	n.a.	7.83 x 10 <sup>-3</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
			CO <sub>2</sub>	Kg/Kg fuel	n.a.	n.a.	3.21	n.a.	2.75	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
			N <sub>2</sub> O	Kg/Kg fuel	n.a.	n.a.	1.6 x 10 <sup>-4</sup>	n.a.	1.08 x 10 <sup>-4</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
			NMVOG	Kg/Kg fuel	n.a.	n.a.	3.08 x 10 <sup>-3</sup>	n.a.	3.0 x 10 <sup>-3</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
			NO <sub>x</sub>	Kg/Kg fuel	n.a.	n.a.	8.7 x 10 <sup>-2</sup>	n.a.	1.4 x 10 <sup>-2</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
			PM <sub>10</sub>	Kg/Kg fuel	n.a.	n.a.	9.7 x 10 <sup>-4</sup>	n.a.	1.8 x 10 <sup>-4</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
			SO <sub>2</sub>	Kg/Kg fuel	n.a.	n.a.	1.0 x 10 <sup>-3</sup>	n.a.	-	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	

Source: Nt. traitement.

### **3. Profils méthodologiques liés à l'estimation des coûts et des avantages environnementaux de l'utilisation du GNL**

Une fois que le framework théorique pour la catégorisation des coûts et avantages environnementaux possibles associés à l'utilisation du GNL pour la propulsion marine a été identifié, dans cette section du document, en premier lieu l'analyse de l'état de l'art relatif aux approches métrologiques pour la quantification de couts et des avantages susmentionnés a été réalisée, en faisant référence aux principales méthodologies utilisées d'un point de vue opérationnel par les spécialistes, les techniciens et les autorités compétentes.

Par la suite, l'objet d'étude et le cadre de l'analyse ont été délimités, avec spécifique référence au Projet SIGNAL pour les fins mentionnées dans le présent document.

#### ***3.1. Approches méthodologiques pour la quantification des coûts et des avantages environnementaux associés au GNL : l'état de l'art***

L'introduction du GNL comme carburant naval peut contribuer de manière significative à la réduction des émissions et de la pollution produites par l'industrie maritime-portuaire dans sa totalité, du moment que le GNL, comme examiné dans la section 2 du présent document, implique des avantages importants en termes de l'environnement en ce qui concerne l'utilisation des carburants marins traditionnellement utilisés dans le transport via mer. En ce sens, la littérature et les documents spécialisés affirmés au niveau international mettent on évidence comme les plus grands avantages associés à l'utilisation du GNL concernent principalement les émissions de SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, PM et, au moins en partie, les émissions de CO<sub>2</sub>.

Le problème fondamental lié à la quantification des avantages environnementaux liés à l'utilisation du GNL dans le cadre maritime portuaire provient du fait que les résultats des analyses et donc de l'évaluation finale dépendent strictement d'au moins trois éléments :

1. la délimitation du domaine d'étude;
2. le choix de l'approche méthodologique globale choisie pour arriver à l'estimation/quantification des impacts;
3. les facteurs d'émission spécifiques utilisés pour effectuer les estimations.

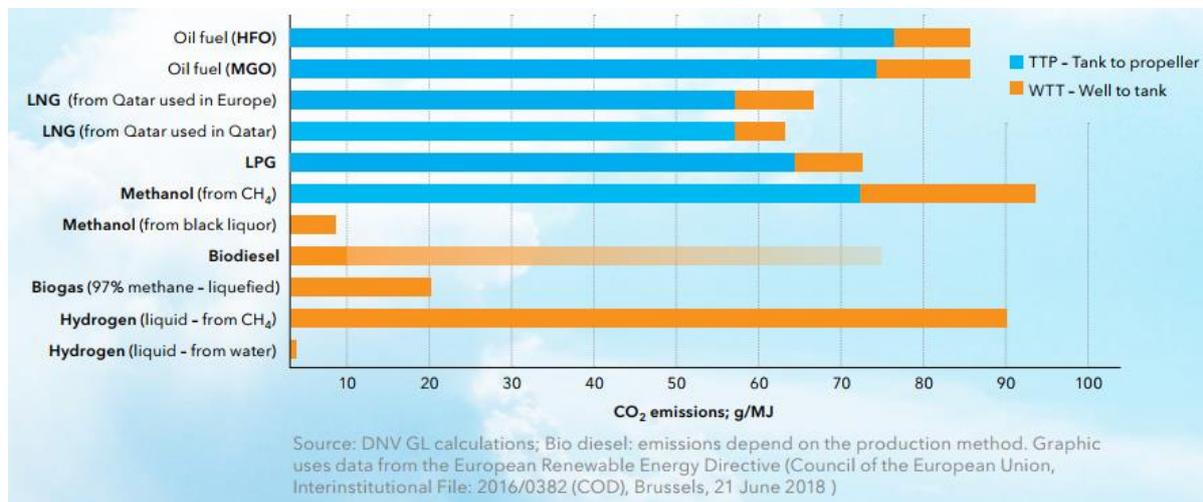
Quant au premier aspect, dans ce cas, la délimitation du domaine d'étude se réfère à la définition du type d'émissions et de polluants à inclure dans l'évaluation des couts/bénéfices environnementaux.

En ce qui concerne le choix de l'approche méthodologique adoptée, au contraire, le choix de la phase du cycle de vie du carburant à considérer est tout d'abord constaté. Certaines études, en effet, prennent en compte quel les effets liés aux phases Tank-to-propeller (TTP), tandis que d'autres étendent l'évaluation aux phases relatives au cycle en amont, à savoir incluent les impacts imputables au Well-to-tank (WTT).

De ce point de vue, à titre de simplification, les données présentées dans la Figure 5 ci-dessous sont considérées, qui mettent en évidence comment l'adoption des deux perspectives peut

conduire à des résultats très différents, par exemple avec référence à l'utilisation de l'hydrogène.

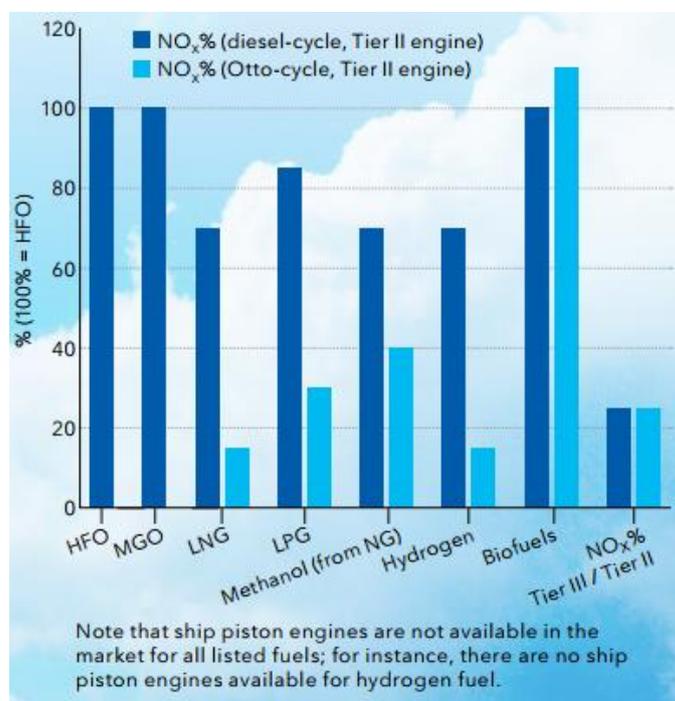
Figure 5. Emissions de CO2 relatives aux différents carburants alternatifs



Source: DNV-GL, «Assessment of selected alternative fuels and technologies» (April 2019)

De plus, toujours au niveau méthodologique, le choix des moteurs à utiliser comme benchmark pour la comparaison en termes d'impacts environnementaux associés aux différents carburants semble non neutre par rapport aux résultats finaux obtenus (cfr. Figure 6; Figure 7).

Figure 6. Emissions de NOx relatives aux différents carburants alternatifs



Source: DNV-GL, «Assessment of selected alternative fuels and technologies» (April 2019).

Figure 7. Utilisation du GNL comme carburant pour la propulsion marine: implications du type de moteur sur l'impact environnemental produit en termes de NOx.

Emission component	Emission reduction with LNG as fuel	Comments
SO <sub>x</sub>	100%	Complies with ECA and global sulphur cap
NOx, low-pressure engines (Otto cycle)	85%	Complies ECA 2016 Tier III regulations
NOx, high-pressure engines (Diesel cycle)	40%	Need EGR/SCR to comply with ECA 2016 Tier III regulations
CO <sub>2</sub>	25-30%	Benefit for the EEDI requirement, no other regulations (yet)
Particulate matter	95-100%	No regulations (yet)

Source: DNV-GL, «Assessment of selected alternative fuels and technologies» (April 2019).

En ce qui concerne le troisième profil, c'est-à-dire le choix spécifique des “facteurs d'émission” à utiliser pour chaque type de carburant, il n'est guère nécessaire de rappeler comment les soi-disant facteurs d'émission pour le carburant marin (exprimés en g/g d'émission pour XXX de carburant) permettent d'effectuer une comparaison rapide des impacts environnementaux liés à l'utilisation de chaque type de carburant, mais posent le problème du choix de l'unité de mesure et des paramètres exacts à utiliser.

En ce sens, les données relatives aux facteurs d'émission liés à certains des carburants marins les plus courants (**HFO - heavy fuel oil** e **MDO - marine diesel oil**), sont comparés à ceux relatifs au GNL (**LNG - liquefied natural gas**), comme indiqué par International Maritime Organization (IMO, 2014).

Les facteurs d'émission, cependant, peuvent varier considérablement en raison de diverse variables fondamentales telles que, à titre d'exemple, l'origine géographique du carburant, comme le met en évidence la Figure 8 ci-dessous.

Figure 8. Comparaison des émissions liées aux différents carburants

COMPARISON OF EMISSIONS FROM DIFFERENT FUELS					
Data from DNV No. 2011-1449, Rev. 1 (Tab 16 mainly); DNV NO 2012-0719	CO <sub>2</sub> equivalent [g/MJ] (Tab 3, DNV-2012-0719)			% CO <sub>2</sub> (HFO = 100%)	
	Well-to-tank CO <sub>2</sub> emissions (WTT)	Tank To Propeller CO <sub>2</sub> emissions (TTP)	Total CO <sub>2</sub> emissions	% total	% Tank To Propeller
Oil fuel (HFO)	9.80	77.70	87.50	100.00	100.00
Oil fuel (MGO)	12.70	74.40	87.10	99.54	95.75
LNG (from Qatar used in Europe)	10.70	69.50	80.20	91.66	89.45
LNG (from Qatar used in Qatar)	7.70	69.50	77.20	88.23	89.45

Source: DNV-GL, «Assessment of selected alternative fuels and technologies» (April 2019).

### 3.1.1. Méthodologies ARPAV

Suite à la réglementation de plus en plus stricte en matière d'émissions à l'intérieur et à l'extérieur des zones côtières et portuaires, tant au niveau européen que mondial, de nombreux sujets institutionnels ont commencé à réaliser recherches à la fois “on-field research” et “deck research” afin d'examiner en détail les coûts et les avantages environnementaux liés à l'utilisation du GNL.

Du point de vue méthodologique, en particulier, l'agence régionale pour la prévention de l'environnement du Veneto (ARPAV) a publié en 2007 et en 2014 deux contributions

particulièrmente détaillées. Dans le document “Le emissioni da attività portuale”, publié en février 2007, l’ARPAV identifie deux méthodologies distinctes finalisées à estimer le scouts et les avantages environnementaux liés à l’utilisation du GNL dans le cadre maritime particulier : la première est **simplifiée**, tandis que la seconde est **détaillée**.

La **methodologie simplifiée** est suggérée par l’ARPAV en cas d’examen des réalités portuaires ou côtières pour lesquelles il ne dispose pas d’informations détaillées sur les opérations portuaires (pilotage, amarrage, embarquement/débarquement, etc.) ou lorsque le trafic maritime se réfère majoritairement aux navires de passage dans les eaux portuaires sans amarrage ni stationnement. L’application de la methodology simplifiée en question nécessite la disponibilité de 4 types d’informations afin de déterminer les émissions produites, à savoir :

- typologie de navire
- nombre de jour de navigation
- typologie de moteur
- typologie de carburant utilisé.

Une fois ces informations connues, l’émission totale sera alors le résultat de :

$$E_i = \sum_{jkl} E_{ijkl}$$

con

$$E_{ijkl} = S_{jk}(GT) \cdot t_{jkl} \cdot F_{ijl}$$

Où:

- i = type de polluant;
- j = type de carburant;
- k = type de navire;
- l = type de moteur;
- $E_i$  = émission totale pour le i-ème polluant;
- $E_{ijkl}$  = émission totale pour le i-ème polluant due à l’utilisation du carburant j, sur un navire de type k et avec un moteur de type l;
- $S_{jk}(GT)$  = consommation journalière de carburant j pour le navire de type k;
- $t_{jkl}$  = jours de navigation du navire de type k avec un moteur de type l et carburant de type j;
- $F_{ijl}$  = facteur d’émission moyen du i-ème polluant dans les moteurs de type l avec carburant de type j.

La **methodologie détaillée**, au contraire, peut être utilisée lorsque, pour chaque navire traversant le port, il est possible d’identifier et de distinguer les différentes phases dans lesquelles les émissions peuvent être générées, à savoir :

- a. Approche ou amarrage au port;
- b. Stationnement dans le port;
- c. Départ du port;

d. Navigation.

Afin d'appliquer correctement la méthodologie détaillée, il est donc nécessaire de disposer de données et d'informations relatives au nombre de jours qu'un navire concerné passe dans chacune des phases susmentionnées, en plus des variables déjà observées pour la méthodologie simplifiée (à savoir : typologie de navire ; nombre de jours de navigation ; typologie de moteur ; typologie de carburant utilisé). La multiplicité des données nécessaires à la réalisation de ce type d'analyse rend l'application de la méthodologie en question peu fréquente dans la pratique. Cependant, si ces informations sont connues, dans ce cas, l'émission totale sera donnée par :

$$E_i = \sum_{jklm} E_{ijklm}$$

con

$$E_{ijklm} = S_{jkm}(GT) \cdot t_{jklm} \cdot F_{ijlm}$$

Où:

- m = type de phase;
- $E_{ijklm}$  = émission totale du i-ème polluant due à l'utilisation du carburant j, sur un navire de type k, avec un moteur de type l et dans la phase m;
- $S_{jkm}(GT)$  = consommation journalière de carburant j pour le navire de type k dans la phase m;
- $t_{jklm}$  = jours de navigation du navire de type k avec un moteur de type l, du carburant de type j et en phase m;
- $F_{ijlm}$  = facteur d'émission moyen du i-ème polluant dans les moteurs de type l avec carburant de type j dans la phase m.

En particulier, en ce qui concerne les résultats des analyses, obtenus selon la méthodologie détaillée, le Tableau 11 présente les émissions globales réparties par les différents types de polluants et par la méthodologie appliquée.

Tableau 11. Résultat des émissions portuaires avec une approche bottom up et comparaison avec l'estimation top down de APAT-2000

attività	stima	emissione (t/anno)					
		NOx	SO2	CO2	CO	HC	PM
80402 - nazionale	bottom-up senza rimorchiatori	544.3274	518.6646	30733.9762	71.5418	48.7758	76.6388
	bottom-up con rimorchiatori	579.1443	555.6575	33039.8695	76.9094	52.6201	83.6747
	top-down APAT	803.2105	SOx = 945.2997	93708.4265	10127.3495	COV = 4789.6938	50.2438
80404 - internazionale	bottom-up senza rimorchiatori	2952.4346	2806.4367	166884.1530	388.4689	259.2288	409.5873
	bottom-up con rimorchiatori	3068.7507	2930.0225	174587.6724	406.4010	272.0720	433.0928
	top-down APAT	-	-	-	-	-	-
80402 + 80404	bottom-up senza rimorchiatori	3496.7620	3325.1012	197618.1292	460.0107	308.0046	486.2261
	bottom-up con rimorchiatori	3647.8950	3485.6800	207627.5419	483.3104	324.6922	516.7676
	top-down APAT	-	-	-	-	-	-

Source: Arpav 2007

Dans l'étude ultérieure publiée en 2013, également par l'ARPAV, la procédure *Tier 3* EMEP/EEA<sup>7</sup> est citée pour l'estimation des émissions, selon laquelle il est nécessaire d'estimer la puissance installée du moteur principal (*main engine*) et du moteur auxiliaire (*auxiliaries*), à partir du tonnage brut (Gross Tonnage) de chaque navire.

La **puissance installée du moteur principal** est calculée selon les fonctions dépendant du Gross Tonnage (GT) et de la catégorie d'appartenance du navire. En ce qui concerne, au contraire, la **puissance installée du moteur auxiliaire**, on calcule la même comme un pourcentage spécifique de la puissance installée du moteur principal. Compte tenu de ce qui précède, l'émission totale sera ensuite calculée ultérieurement à partir de l'équation ci-dessous :

$$E_{Trip,i,j,m} = \sum_P \left[ T_p \sum_e (P_e \times LF_e \times EF_{e,i,j,m,p}) \right]$$

Où:

- $E_{Trip}$  = émission d'un voyage (tonnes) ;
- $EF$  = facteur d'émission (g/Kwh), selon le type de navire ;
- $LF$  = facteur de charge du moteur (%) ;
- $P$  = puissance nominale du moteur (kW) ;
- $p$  = phase de navigation (croisière, stationnement, manœuvre) ;
- $T_p$  = temps utilisé dans une certaine phase de (h) ;
- $E$  = catégorie de moteur (principale, auxiliaire) ;
- $I$  = polluant (NO<sub>x</sub>, NMVOC, PM) ;
- $j$  = type de moteur (diesel à basse, moyenne et haute vitesse, turbine à gaz, turbine à vapeur) ;
- $m$  = type de carburant (fioul, huile diesel marin, essence).

La procédure *Tier 3* EMEP/EEA prévoit également la possibilité, en cas de manque d'informations concernant le type de moteur et le carburant utilisé par chaque navire, de se référer aux distributions statistiques relatives aux classes de moteurs et des carburants, sur la base des données enregistrés relatives aux flottes de référence.

A titre d'exemple, le Tableau 12 présente les pourcentages des moteurs installés répartis par typologie de moteur et classe d'appartenance ; ces données sont attribuables à la flotte enregistrée en 2010.

<sup>7</sup> La méthodologie proposée par l'Environmental Monitoring, Evaluation and Protection European/Environment Agency (EMEP/EEA) appelée Tier 3 est décrite dans le guide "Air pollutant mission inventory guidebook" (2019), dans lequel il est défini comment cette procédure peut être appliquée en suivant différents degrés de précision, en fonction des informations disponibles.

Tableau 12. Pourcentages des moteurs installés répartis par typologie de moteur et classe d'appartenance

Ship category	SSD MDO /MGO	SSD BFO	MSD MDO /MGO	MSD BFO	HSD MDO /MGO	HSD BFO	GT MDO /MGO	GT BFO	ST MDO /MGO	ST BFO
Liquid bulk ships	0.87	74.08	3.17	20.47	0.52	0.75	0.00	0.14	0.00	0.00
Dry bulk carriers	0.37	91.63	0.63	7.29	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Container	1.23	92.98	0.11	5.56	0.03	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00
General cargo	0.36	44.59	8.48	41.71	4.30	0.45	0.00	0.10	0.00	0.00
Ro Ro Cargo	0.17	20.09	9.86	59.82	5.57	2.23	2.27	0.00	0.00	0.00
Passenger	0.00	3.81	5.68	76.98	3.68	1.76	4.79	3.29	0.00	0.02
Fishing	0.00	0.00	84.42	3.82	11.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Others	0.48	30.14	29.54	19.63	16.67	2.96	0.38	0.20	0.00	0.00
Tugs	0.00	0.00	39.99	6.14	52.80	0.78	0.28	0.00	0.00	0.00

Source: Arpav 2013

### 3.1.2. Méthodologie de l'Autorité Portuaire de Salerno

Un autre sujet institutionnel ayant proposé une méthodologie pour le calcul des émissions dérivant du trafic maritime est l'ex-Autorité Portuaire de Salerno qui, en 2013, dans l'étude consacrée aux interventions d'adaptation technique et fonctionnelle du port commercial de Salerno, a réalisé une analyse détaillée de l'impact environnemental lié à l'utilisation de différentes formes de carburant dans le cadre maritime-portuaire.

Plus précisément, l'ex-Autorité Portuaire de Salerno a identifié deux approches d'analyse: le premier focalisé sur la détermination quantitative des émissions causées directement par les zones et les domaines portuaires, le seconde destiné à identifier et évaluer les facteurs indirects d'augmentation des émissions, donc imputable à l'infrastructure mais pas généré directement par lui.

Pour la première partie de l'analyse, il a été fait référence à la section 1.A.3d "Navigation GB2009 update March 2011", du document "Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2009", qui traite de tous les modalités de transport par eau (à partir de la plaisance jusqu'à la navigation en eau océanique), y compris les moteurs diesel, à vapeur et à gaz.

En ce qui concerne les processus d'émission produits par la navigation, ils peuvent être attribués à deux sources principales :

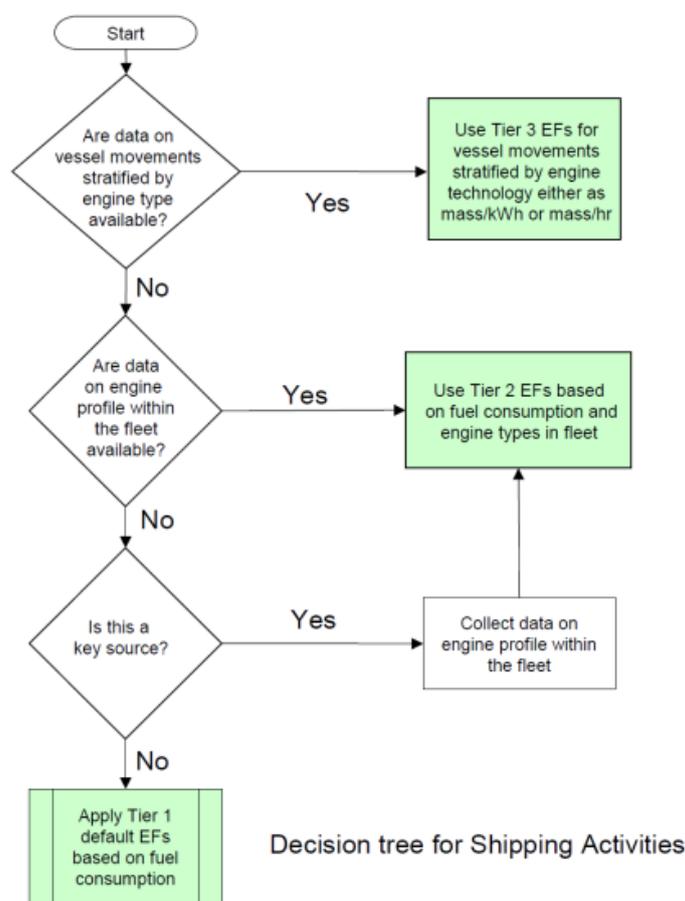
- Les moteurs principaux, utilisés pour la propulsion;
- Les moteurs auxiliaires, utilisés pour l'énergie et les services.

Selon les informations disponibles, trois méthodes distinctes sont proposées, qui sont décrites ci-dessous et présentées sous la forme d'un organigramme de flux de la méthodologie dans la Figure 9:

1. TIER 1, lorsque les données pour la typologie de carburant sont connues et lorsque la source n'est pas considérée comme la source principale;
2. TIER 2, lorsque on dispose d'informations relatives à la typologie du moteur;

3. TIER 3, lorsque des informations relatives aux mouvements des navires soient disponibles, réparties par typologie de moteur et par typologie de manœuvre. Cette méthodologie, est donc basée sur la circulation des navires individuels et sur leurs caractéristiques techniques en termes de type de moteur et carburant utilisé : cela permet d'évaluer à la fois les émissions globales et les facteurs d'émissions de chaque source. La même méthodologie est ensuite décomposée en deux autres approches méthodologiques en fonction des informations spécifiques connues :
- Le premier est utilisé lorsque la quantité de carburant est connue ;
  - Le deuxième, au contraire, est utilisé lorsque le quantitatif de carburant consommé n'est pas connu.

Figure 9. Arbre décisionnel pour l'évaluation des émissions des activités navales



Source: AP Salerno, 2013

### 3.1.3. Méthodologie de la société de conseil Techne Consulting

Techne Consulting, société de conseil qui étudie, recherche et développe des modèles software dans le secteur de l'environnement et de l'énergie, a présenté en 2017 une étude finalisée à étudier les émissions du système portuaire, y compris la méthodologie, les software et l'application du cas su les ports de la Liguria. L'évaluation des émissions a été réalisée en

répartissant l'analyse en deux: la première finalisée à étudier les émissions produites par les activités de manœuvre et de stationnement des navires et des remorqueurs, la seconde, au contraire, avec un focus sur les activités portuaires à terre, y compris dans cette catégorie :

- Manipulation des produits pétroliers ;
- Manipulation des combustibles solides et d'autres matières pulvérulentes ;
- Manipulation des véhicules de service vers les activités portuaires ;
- Entretien des navires ;
- Trafic et stationnement de véhicules à roues sur le réseau routier à l'intérieur des zones portuaires.

En ce qui concerne la première analyse, les émissions, quantifiées pour chaque navire, sur une base horaire et pour une année entière, ont été calculées à partir de :

- a. L'évaluation de la consommation de carburant en stationnement et en manœuvre: ces consommations ont été déterminées par la puissance des moteurs de chaque navire, l'évaluation sur la charge des moteurs dans les différentes phases et par des fonctions appropriées qui expriment la consommation en fonction de la puissance ;
- b. Les facteurs d'émission, en utilisant comme source EMEP/EEA Guidebook.

Il est donc évident que, selon les données disponibles, une méthodologie est préférable à une autre et, bien que certaines institutions et organes institutionnels fournissent des techniques de calcul et d'analyse basées sur des distributions statistiques, le calcul des émissions, et donc aussi la ponctuelle comparaison entre les solutions alternatives pour la propulsion navale en raison de l'impact environnemental produit, est influencés par une pluralité de facteurs externes et subjectifs, qui dérivent à la fois de la disponibilité des données, de leur niveau de mise à jour et du calcul de la consommation de carburant par des paramètres utilisés en relation à chaque facteur d'émission.

### ***3.2. Délimitation de l'objet d'analyse et définition des alternatives méthodologiques applicables au Projet SIGNAL***

Afin d'estimer l'avantage, en termes de réduction des émissions de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM et SO<sub>x</sub>, produit par le "switch" de fiouls marins traditionnels, comme le HFO, vers des carburants plus innovatives et moins polluants comme le GNL, dans le cadre du présente projet SIGNAL, il a été décidé d'étudier deux méthodes, tous le deux basées sur la logique des "peers".

La logique des "peers" précitée permet de comparer les moteurs de nouvelle génération des navires propulsés au GNL et, en particulier, leur consommation, avec la consommation des moteurs traditionnels du secteur maritime, principalement alimentés par HFO, comme s'ils faisaient l'objet de refitting.

En fait, sur la base de cette logique, il a été émis l'hypothèse de comparer à la flotte GNL utilisée dans la zone MED, identifié dans la section T.2.1.1 du produit TDI RETE-GNL, mis à jour et intégré par la suite dans le produit T.1.3.2, une flotte propulsée par HFO, supposée être utilisée sur les mêmes routes que la flotte GNL et avec des caractéristiques techniques

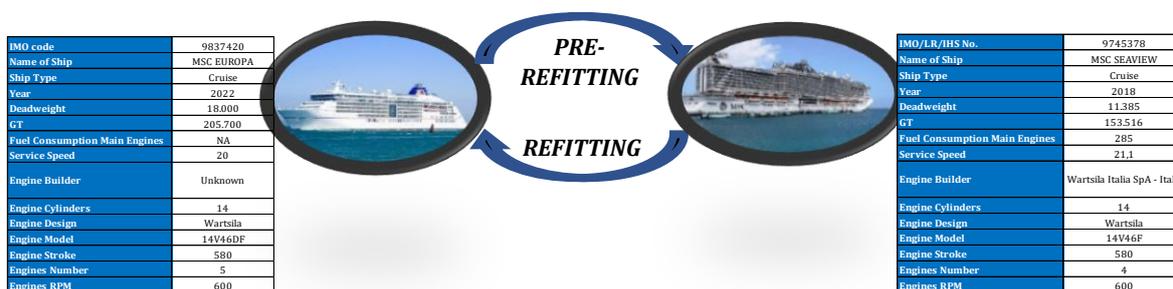
similaires en termes de size (GT, Deadweight), typologie de navire, ainsi que de type et puissance de moteur. Cette flotte a été appelée “Peers HFO”. À égalité de conditions, les variables ayant le plus d’impact sur le choix de l’identification de la flotte “peers HFO” sont celles relatives au moteur principal, comme indiqué ci-dessous :

- Engine Design: producteur du moteur principal
- Engine Stroke: 2 ou 4 temps
- Engine Cylinder: nombre de cylindre du moteur
- Engine Number: nombre de moteurs
- Engine RPM: nombre de tours par minute du moteur
- Engine power KW/H: Puissance du moteur en termes de chilowatt par heure

En identifiant la flotte “peers à HFO” il a été possible de comparer la consommation des deux flottes sur une période préétablie (année) et, par la suite, en appliquant un taux de conversion en émissions des carburants objet d’analyse, HFO et GNL, identifiés sur la base des spécifications techniques des différents moteurs (design et puissance en KW/h), d’estimer les émissions des deux flottes. A partir de la comparaison entre les émissions des deux flottes, il est donc possible d’identifier l’avantage environnemental dérivant de la transition des formes traditionnelles de propulsion navale vers des solutions plus innovantes.

La raison de l’utilisation de la logique “peers” est due au fait qu’il est jugé que les bateaux “peers HFO” représentent, avant une opération de conversion (refitting), les navires de la flotte GNL utilisés dans le MED ; dans le cas où celle-ci n’avaient pas été converties et construites. Dans la Figure 10, un exemple de la logique “refitting” utilisée pour l’identification des peers. Il s’agit évidemment d’une abstraction finalisée à comprendre l’avantage environnemental qui dérive de l’introduction de nouveaux navire GNL au lieu de continuer à utiliser des navires de propulsion traditionnels.

Figure 10: Logique refitting pour l’identification de la flotte “peers HFO” par rapport à la flotte GNL



Source: Nt. traitement

L’identification de la flotte “peers” de navires propulsés par HFO, a été effectuée à la fois en ce qui concerne les navires GNL actuellement en service et ceux en cours ou en construction dans les chantiers navals.

Cela dérive du fait que, comme pour le produit T.1.3.2 de SIGNAL, également pour le produit T.1.5.1 objet du présent rapport, on compte examiner les avantages en termes de réduction des

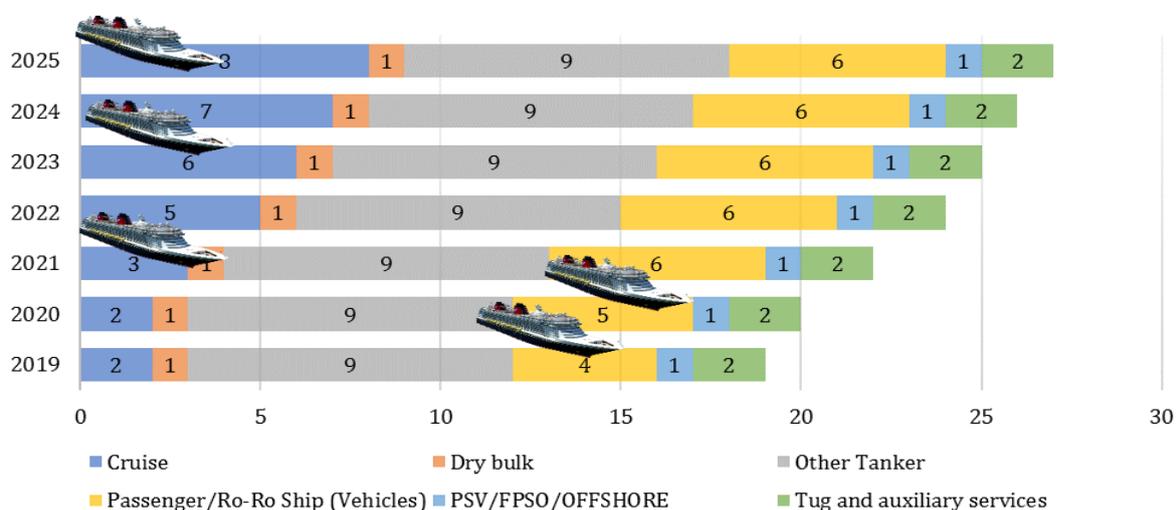
émissions CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM et SO<sub>x</sub>, résultant du switch entre les moteurs HFI et GNL, avec un horizon temporel qui d'étend de 2020 à 2035.

De 2020 à 2025, afin d'estimer la demande maritime de HFO et les émissions associées, a méthode analytique a été utilisée, sur la base des commandes des chantiers navals, pour mettre à jour la flotte "peers HFO" afin qu'elle soit représentative sur la période 2020-2025 de la taille du futur parc de GNL et de la consommation et les émissions associées. Quant à la période suivante, qui d'étend de 2'25 à 2035, de la même manière que ce qui a été fait pour le produit T.1.3.2, n'étant pas disponibles les données sur les nouvelles commandes aux chantiers de navires GNL, il a été procédé avec une méthode d'estimation des émissions de type synthétique. C'est-à-dire qu'il a été procédé à appliquer à la demande estimée de bunker des différentes typologies navales de la flotte "peers HFO" en relation à l'année 2025, les taux CAGR dérivés de la croissance historique des flottes des différents types navals alimentés au GNL, donc équivalente à la croissance de la consommation cette croissance des émissions.

La Figure 11 présente la consistance de la flotte GNL de 2020 à 2025, entièrement reproduite dans le processus d'identification des "peers HFO" tandis que, la Figure 12, présente les profils techniques des navires propulsés par GNL actives et en ordre aux chantiers sur lesquels leurs homologues "peers" navales équivalents propulsée par HFO ont été sélectionnés.

La Figure 13 montre les caractéristiques techniques des "navires peers" propulsés par HFO.

Figure 11: Flotte GNL active et en ordre



Source: Nt. traitement.

Figure 12: Profils techniques des navires propulsés à GNL et relatifs "peers HFO"

IMO code	Name of Ship	Ship Type	Year	Deadweight	GT	Fuel Consumption Main Engines	Service Speed	Engine Cylinders	Engine Design	Engine Model	Engine Stroke	Engines Number	Total KW Main Eng	Total HP Main Eng	Engines RPM	IMO code	Name of Ship
9781865	AIDANOVA	Cruise	2018	12.500	183.858	NA	18	16	MaK	16M46DF	610	4	61760	83968	514	9410569	NORWEGIAN EPIC
9781889	COSTA SMERALDA	Cruise	2019	13.000	183.900	NA	18	16	MaK	16M46DF	610	4	61760	83968	514	9410569	NORWEGIAN EPIC
9837420	MSC EUROPA	Cruise	2022	18.000	205.700	NA	20	14	Wartsila	14V46DF	580	5	80150	108970	600	9745378	MSC SEAVIEW
9829930	ICON OF THE SEAS	Cruise	2022	13.500	200.000	NA	21	14	Wartsila	NA	580	1	NA	NA	514	9304033	FREEDOM OF THE SEAS
9781891	COSTA TOSCANA	Cruise	2021	13.000	184.000	NA	18	16	MaK	NA	NA	NA	NA	NA	NA	9410569	NORWEGIAN EPIC
NA	MSC WORLDCLASS 1	Cruise	2024	18.000	205.700	NA	20	14	Wartsila	NA	NA	NA	NA	NA	NA	9745378	MSC SEAVIEW
NA	MSC WORLDCLASS 2	Cruise	2025	18.000	205.700	NA	20	14	Wartsila	NA	NA	NA	NA	NA	NA	9745378	MSC SEAVIEW
NA	MSC MERAVIGLIA PLUS	Cruise	2023	13.610	181.541	NA	20	14	Wartsila	NA	NA	NA	NA	NA	NA	9745378	MSC SEAVIEW
9441130	ABEL MATUTES	Passenger/Ro-Ro Ship (Vehicles)	2010	5.300	29.670	NA	21,4	9	MaK	9M46DF	610	3	18000	24473	500	9390367	MARTIN SOLER
9819806	ELIO	Passenger/Ro-Ro Ship (Vehicles)	2018	1.673	8.778	NA	15	6	Wartsila	6L34DF	400	3	9000	12237	720	9208394	EUROPEAN CAUSEWAY
9498755	HYPATIA DE ALEXANDRIA	Passenger/Ro-Ro Ship (Vehicles)	2019	7.000	26.500	NA	24	NA	Wartsila	NA	NA	2	20610	28022	NA	9212163	BAIE DE SEINE
9498767	MARIE CURIE	Passenger/Ro-Ro Ship (Vehicles)	2019	7.000	26.375	NA	24	NA	Wartsila	NA	NA	2	20600	28008	NA	9212163	BAIE DE SEINE
9863637	ARMON GION G021	Passenger/Ro-Ro Ship (Vehicles)	2020	1.200	9.378	NA	35	16	Wartsila	16V31DF	430	4	35200	47856	750	9208394	EUROPEAN CAUSEWAY
9875537	BARRERAS 1708	Passenger/Ro-Ro Ship (Vehicles)	2021	5.800	39.751	NA	26	8	Wartsila	8L46DF	580	4	36640	49816	600	9212163	BAIE DE SEINE
9772278	MIA DESGAGNES	Chemical/Products Tanker	2017	14.986	12.061	13,9	13,8	5	Wartsila	5RT-flex50DF	2050	1	5450	7410	110	9809057	OCEAN DOLPHIN
9804423	PAUL A. DESGAGNES	Chemical/Products Tanker	2018	14.980	12.061	13,9	13,8	5	Wartsila	5RT-flex50DF	2050	1	5450	7410	110	9809057	OCEAN DOLPHIN
9739812	RAMANDA	Chemical/Products Tanker	2018	17.999	12.770	8,8	13	9	Wartsila	9L34DF	400	1	4500	6118	750	9499838	T. GONUL
9804435	ROSSI A. DESGAGNES	Chemical/Products Tanker	2019	15.100	11.837	13,9	13,8	5	Wartsila	5RT-flex50DF	2050	1	5450	7410	110	9809057	OCEAN DOLPHIN
9739824	THUN VEINERN	Chemical/Products Tanker	2018	17.999	12.770	8,8	13	9	Wartsila	9L34DF	400	1	4500	6118	750	9499838	T. GONUL
9818278	FIRE VEN	Chemical/Products Tanker	2019	17.993	12.770	8,8	13	9	Wartsila	9L34DF	400	1	4500	6118	750	9499838	T. GONUL
9829784	MOSTRAUM	Chemical/Products Tanker	2019	10.543	7.256	NA	12,5	9	Wartsila	9L34DF	400	1	4320	5873	720	9499838	T. GONUL
9771456	IRELAND	Cement Carrier	2016	7.569	4.284	NA	13	6	Wartsila	6L34DF	400	1	2999	4077	750	9103790	CAPO CINTO
9776925	LIVING STONE	Cable Layer	2018	13.815	18.886	NA	14	9	Wartsila	9L34DF	400	4	13050	17744	720	9236676	ASEAN EXPLORER
9778155	MINERVA	Trailing Suction Hopper Dredger	2017	2.778	3.952	NA	12	16	A.B.C.	16VDZC	310	2	4800	6526	900	9462603	DE LAPEROUSE
9372901	VIKING QUEEN	Platform Supply Ship	2008	6.200	6.111	15	16	6	Wartsila	6L32DF	350	4	9200	12508	750	9743057	HARVEY BLUE-SEA

Flotte alimentée au GNL

Flotte peers alimentée au HFO

Figure 13: Profils techniques des navires "peers HFO"

IMO code	Name of Ship	Ship Type	Year	Deadweight	GT	Service Speed	Fuel Consumption Main Engines	Engine Cylinders	Engine Design	Engine Model	Engine Stroke	Engines Number	Total KW Main Eng	Total HP Main Eng	Engines RPM
9410569	NORWEGIAN EPIC	Passenger/Cruise	2010	10.850	155.873	22,50	280,00	12	MaK	12M43C	610	6	80.400	109.314	514
9410569	NORWEGIAN EPIC	Passenger/Cruise	2010	10.850	155.873	22,50	280,00	12	MaK	12M43C	610	6	80.400	109.314	514
9745378	MSC SEAVIEW	Passenger/Cruise	2018	11.385	153.516	21,10	285,00	14	Wartsila	14V46F	580	4	62.400	84.838	600
9304033	FREEDOM OF THE SEAS	Passenger/Cruise	2006	10.600	156.271	21,60	280,00	12	Wartsila	12V46C	580	6	62.400	84.838	514
9410569	NORWEGIAN EPIC	Passenger/Cruise	2010	10.850	155.873	22,50	280,00	12	MaK	12M43C	610	6	80.400	109.314	514
9745378	MSC SEAVIEW	Passenger/Cruise	2018	11.385	153.516	21,10	285,00	14	Wartsila	14V46F	580	4	62.400	84.838	600
9745378	MSC SEAVIEW	Passenger/Cruise	2018	11.385	153.516	21,10	285,00	14	Wartsila	14V46F	580	4	62.400	84.838	600
9745378	MSC SEAVIEW	Passenger/Cruise	2018	11.385	153.516	21,10	285,00	14	Wartsila	14V46F	580	4	62.400	84.838	600
9390367	MARTIN I SOLER	Passenger/Ro-Ro Ship (Vehicles)	2008	4.370	24.760	21,40	80,00	9	MaK	9M43C	610	2	18.000	24.472	500
9208394	EUROPEAN CAUSEWAY	Passenger/Ro-Ro Ship (Vehicles)	2000	4.331	20.646	22,70	80,00	12	Wartsila	12V38	475	4	31.680	43.072	600
9212163	BAIE DE SEINE	Passenger/Ro-Ro Ship (Vehicles)	2003	5.625	22.382	22,00	85,00	9	Wartsila	9L46C	580	2	18.900	25.696	500
9212163	BAIE DE SEINE	Passenger/Ro-Ro Ship (Vehicles)	2003	5.625	22.382	22,00	85,00	9	Wartsila	9L46C	580	2	18.900	25.696	500
9208394	EUROPEAN CAUSEWAY	Passenger/Ro-Ro Ship (Vehicles)	2000	4.331	20.646	22,70	80,00	12	Wartsila	12V38	475	4	31.680	43.072	600
9212163	BAIE DE SEINE	Passenger/Ro-Ro Ship (Vehicles)	2003	5.625	22.382	22,00	85,00	9	Wartsila	9L46C	580	2	18.900	25.696	500
9809057	OCEAN DOLPHIN	Chemical/Products Tanker	2017	11.999	8.611	13,50	14,50	5	Wartsila	5X35	1.550	1	3.575	4.861	142
9809057	OCEAN DOLPHIN	Chemical/Products Tanker	2017	11.999	8.611	13,50	14,50	5	Wartsila	5X35	1.550	1	3.575	4.861	142
9499838	T. GONUL	Chemical/Products Tanker	2009	10.873	7.318	14,10	14,00	8	Wartsila	8L32	400	1	4.000	5.438	750
9809057	OCEAN DOLPHIN	Chemical/Products Tanker	2017	11.999	8.611	13,50	14,50	5	Wartsila	5X35	1.550	1	3.575	4.861	142
9499838	T. GONUL	Chemical/Products Tanker	2009	10.873	7.318	14,10	14,00	8	Wartsila	8L32	400	1	4.000	5.438	750
9499838	T. GONUL	Chemical/Products Tanker	2009	10.873	7.318	14,10	14,00	8	Wartsila	8L32	400	1	4.000	5.438	750
9103790	CAPO CINTO	Cement Carrier	1997	3.250	2.788	12,50	11,00	8	Wartsila	8R32E	350	1	3.280	4.459	750
9236676	ASEAN EXPLORER	Cable Layer	2002	9.650	14.988	14,50	28,00	8	Wartsila	8R32E	350	4	12.960	17.620	720
9462603	DE LAPEROUSE	Trailing Suction Hopper Dredger	2010	5.440	4.108	12,40	13,00	12	A.B.C.	12VDZC	310	2	5.600	7.614	1.000
9743057	HARVEY BLUE-SEA	Platform Supply Ship	2017	5.881	8.417	12,00	17,30	6	Wartsila	6L32	400	4	12.000	16.316	750

Source: Nt. traitement.

Suite à l'identification de la flotte "peers HFO", existante et future, sur la base des considérations faites dans les sections précédentes, il a été procédé à l'identification de la faisabilité concrète de l'adoption de deux méthodes de calcul spécifiques pour estimer la consommation et les émissions des deux flottes différentes :

- 1) Méthode "peers HFO" basée sur la consommation annuelle totale
- 2) Méthode "peers HFO" basée sur la consommation par kilométrage

De suite les spécificités de chacune des deux approches sont décrites en détail identifiant leurs avantages et leurs problèmes critiques dans le cas spécifique du Projet SIGNAL.

### ***3.2.1. Méthodologie 1: "Peers HFO" basée sur la consommation annuelle totale***

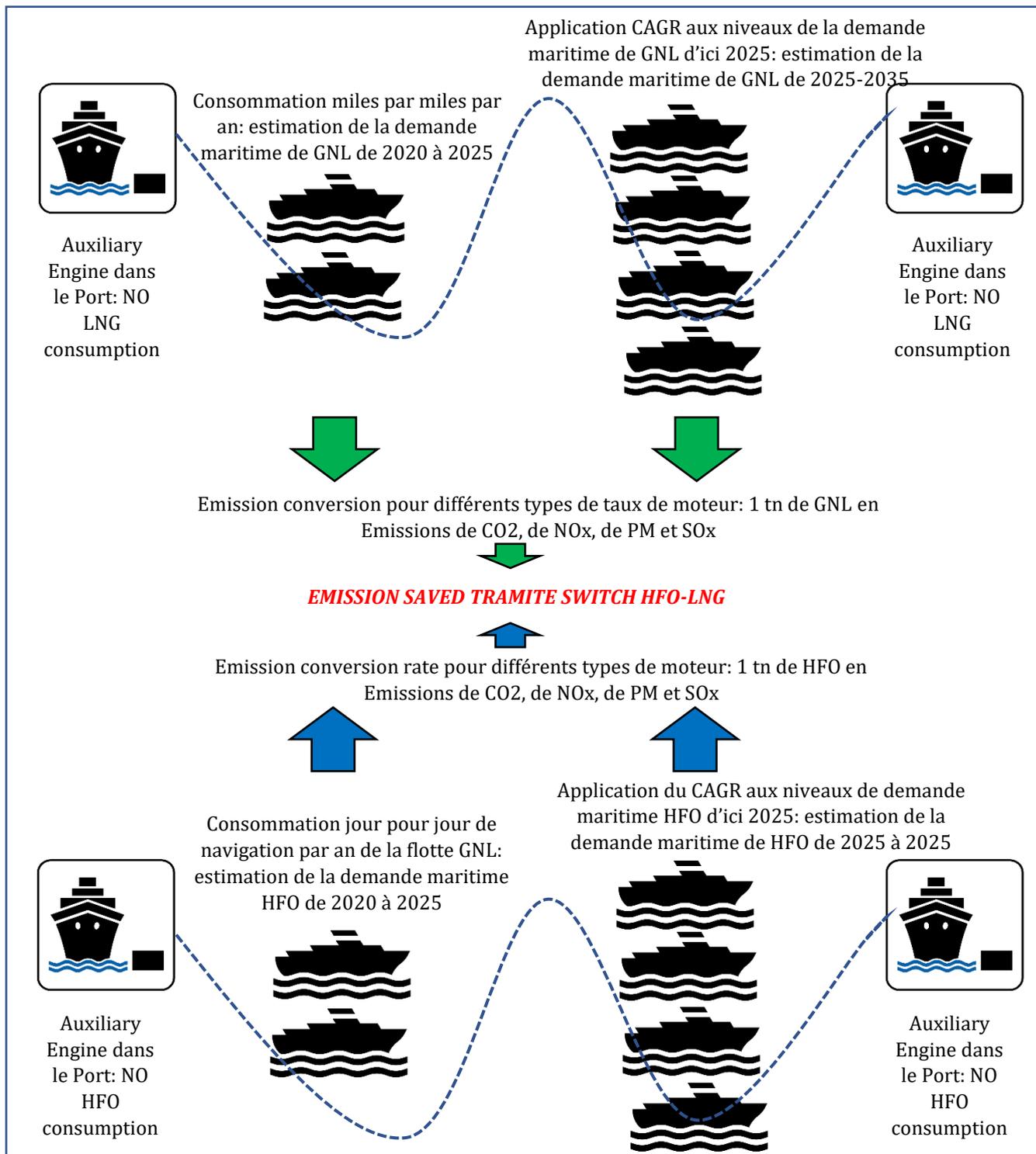
La méthodologie 1, basée sur la consommation annuelle totale, est basée sur 5 étapes procédurales principales décrites brièvement ci-dessous :

- ***I step:*** estimation de 2020 à 2025 de la consommation annuelle de la flotte "peers HFO" à travers la connaissance de la consommation journalière du "main engine" en tonnes et, à travers l'hypothèse du même usage commercial, en termes de jours de navigation de la flotte de HFO par rapport à flotte de GNL. La consommation annuelle de bunker ainsi estimée dépend uniquement des besoins énergétiques des navires lors de la navigation, phase dans laquelle les principaux moteurs sont principalement utilisés. En fait, les navires propulsés au GNL et ceux propulsés au HGO, en phase de manœuvre portuaire et stationnement dans le port utilisent les huiles distillées (MGO/MDO) du moteur auxiliaire. Le moteur auxiliaire permet en plus de la manœuvre au port aussi le correct fonctionnement de tous les équipements mécaniques et électriques du navire, et il est donc évident qu'aucune réduction des émissions ne peut être étudiée dans le cas de l'utilisation de moteurs auxiliaires en phase portuaire. De plus, c'est pour cette raison que les consommations enquêtées en navigation de la flotte alimentée au GNL et au HFO ne sont que celles du "main engine", laissant de côté cette petite partie des distillats brûlés lors de la navigation par le moteur auxiliaire pour produire de l'électricité à bord. Il s'agit clairement d'une simplification qui conduit également à une sous-estimation des bénéfices environnementaux associés au changement de carburant utilisé, mais néanmoins une solution méthodologique acceptable apparaît, compte tenu de la complexité inhérente à la réalisation de ce type d'estimation, notamment en l'absence de données et d'informations adéquates. .
- ***II step:*** estimation en 2035 de la consommation annuelle de la flotte "peers HFO" grâce à l'application à la consommation annuelle de GFO relative au 2025, dérivant des différents types navals de la flotte "peers HFO", en appliquant les taux de croissance composés (CAGR) utilisés pour le Produit T.1.3.2.
- ***III step:*** conversion de la consommation actuelle et future relative à la flotte "peers HFO", exprimée en tonnes de HFO en émissions de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM, SO<sub>x</sub>. Le taux de conversion appliqué (emission conversion rate) dépendra de la typologie et de la puissance du moteur étudié (e.g. WARSTILA 8L46 KW/h 18.000).

- **IV step:** conversion des consommations actuelles et futures liées à la flotte GNL, en termes de tonnes de GNL, comme estimées dans le produit T.1.3.2, en émissions de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM, SO<sub>x</sub> sur la base du “emission conversion rate” du moteur enquêté.
- **V step:** comparaison des bénéfices annuels en termes d’émissions de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM, SO<sub>x</sub> économisés grâce au “switch” entre moteurs HFO et moteurs GNL.

La Figure 14 résume les étapes de construction de la méthodologie “peers HFO consommation totale”.

Figure 14: processus méthodologique de la méthode “peers HFO” basé sur la consommation annuelle totale



Source: Nt. traitement.

La méthode “peers HFO” sur la consommation totale est basée sur deux hypothèses :

- **I<sup>a</sup> hypothèse:** même utilisation commerciale des navires “peers HFO” par rapport aux navires GNL. Estimation des jours en navigation à l’aide de la méthode appliquée à l’estimation de la demande maritime de GNL selon les données issues du produit T.1.3.2 de SIGNAL.
- **II<sup>a</sup> hypothèse:** la consommation de moteurs auxiliaires en navigation et dans le port dérive de l’utilisation de MGO aussi bien dans le cas de la flotte GNL que de la flotte HFO (mesurées en termes de tonnes de distillats) et ne relèvent pas donc à l’analyse sur les “bénéfices de la réduction des émissions” induits par le “switch” de moteurs HFO aux moteurs GNL. Comme déjà précisé, il s’agit d’une hypothèse simplificatrice qui a d’ailleurs tendance à sous-estimer les bénéfices environnementaux liés au switch en examen.

### 3.2.2. *Méthodologie 2: Méthode “peers HFO” basée sur la consommation miles annuelle*

La seconde méthodologie, basée sur la consommation miles annuelle, comprend également une procédure en 5 étapes principales:

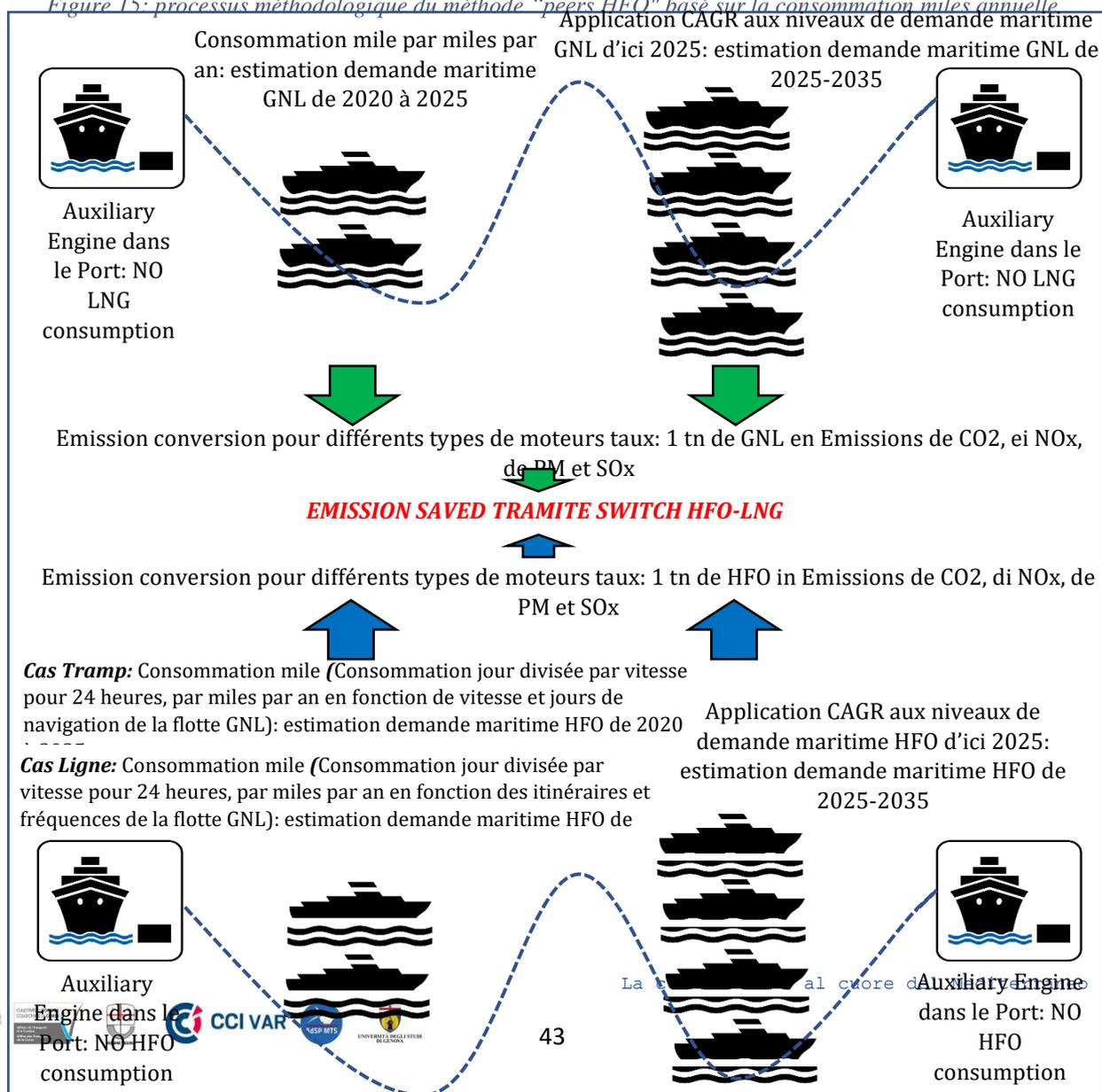
- **I step:** estimation de 2020 à 2025 (méthode analytique, nouvelles commandes) de la consommation annuelle liée à la flotte “peers HFO”, à partir de l’analyse de la consommation journalière du “main engine” en termes de tonnes et, en supposant une utilisation commerciale de la flotte “peers HFO” similaire à celle de la flotte GNL, utilisation exprimée en termes de distance totale parcourue en milles au cours de l’année. Dans cette méthodologie, afin d’estimer la consommation annuelle HFO de différents types de navires, comme cela a été fait également pour l’estimation de la consommation annuelle de la flotte GNL, comme indiqué dans le Produit T.1.3.2, il est nécessaire de distinguer les navires en fonction du type de service offert /programmé vs tramp). Dans le premier cas, ces navires étant utilisés commercialement sur la case d’un itinéraire, en termes de jours et de miles, quasiment fixe au cours de l’année ou pendant une partie de l’année, il est possible d’utiliser le calcul des miles annuels parcourus par les navires programmés GNL et multiplier cette valeur par la consommation de miles de HFO, résultant du rapport entre la consommation en tonnes et la vitesse de croisière en termes de miles par heure multiplié par 24 heures. Dans le cas de navires tramp HFO, en revanche, il est nécessaire d’utiliser l’estimation sur l’utilisation annuelle en termes de jours de navigation de la flotte GNL, pareillement à la première méthodologie “peers HFO”, et, successivement, d’utiliser les données des miles parcourus par an résultant de l’estimation de l’utilisation commerciale du pe la flotte GNL. Ensuite, il est nécessaire de calculer la consommation miles des navires “peers HFO”, en divisant la consommation quotidienne par la vitesse de croisière

(multipliée par 24 heures), et enfin de multiplier cette donnée par les miles totales annuelles parcourus par les navires de la flotte.

- **II step:** comme dans la première méthodologie, il est nécessaire d'appliquer la méthodologie analytique (nouvelles commandes) et la méthodologie synthétique (CAGR) afin de projeter la consommation annuelle de HFO jusqu'en 2035.
- **III step:** conversion de la consommation actuelle et future en termes de tonnes de HFO en émissions de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM, SO<sub>x</sub>, en fonction de la typologie de moteur et en ne considérant que la consommation dans la phase de navigation et non en phase de séjour au port comme expliqué dans la première méthodologie.
- **IV step:** conversion de la consommation actuelle et future de la flotte GNL, en termes de tonnes de GNL, comme estimées dans le produit T.1.3.2, en émissions de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM, SO<sub>x</sub> sur la base de l' "emission conversion rate" du moteur enquêté.
- **V step:** comparaison des bénéfices annuels en termes d'émissions de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM, SO<sub>x</sub> sauvées grace au "switch" entre moteurs HFO en moteurs GNL.

La Figure 15 résume les étapes de construction de la méthodologie peer "consommation totale".

Figure 15: processus méthodologique du méthode "peers HFO" basé sur la consommation miles annuelle



Les principales hypothèses de cette méthode sont équivalentes à celles de la première méthode :

- **I<sup>a</sup> hypothèse:** même utilisation commerciale des navires “peers HFO” par rapport aux navires GNL. Estimation des jours de navigation à l’aide de la méthode appliquée pour estimer la demande maritime de GNL selon les données issues du Produit T.1.3.2 de SIGNAL.
- **II<sup>a</sup> hypothèse:** la consommation de moteurs auxiliaires en navigation et dans le port dérive de l’utilisation de MGO aussi bien dans le cas de la flotte GNL que HFO (mesurées en termes de tonnes de distillats) et échappent donc à l’analyse des “bénéfices de la réduction des émissions” induits par le “switch” de moteurs HFO vers moteurs GNL. Comme déjà précisé, il s’agit d’une hypothèse simplificatrice qui a d’ailleurs tendance à sous-estimer les bénéfices environnementaux associés au switch en question.

#### 4. Analyse des bénéfices environnementaux dans la zone Cible: résultats de l’étude

Afin d’estimer empiriquement les avantages environnementaux globaux dans la zone Cible, dérivant du passage de l’utilisation de carburants traditionnels à l’utilisation de GNL comme méthode de propulsion navale, la méthodologie 1 “Peers HFO” basée sur la consommation mile a été utilisée, comme précédemment décrit. En ce qui concerne toutefois la typologie d’émissions considéré, sur la base de ce qui est décrite dans la partie méthodologique du présent document et d’une manière cohérente avec ses objectifs, le groupe de travail a considéré les émissions suivantes:

- Oxydes de soufre (SO<sub>x</sub>)
- Oxydes d’azote (NO<sub>x</sub>)
- Dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)

Pour chacune des émissions précitées, toutes les données et les informations ponctuelles nécessaires à l’estimation des bénéfices environnementaux en question ont été collectées. Cela nécessitait de prendre en compte les caractéristiques techniques spécifiques des moteurs utilisés à la fois par la flotte GNL et la flotte peers HFO. À cet effet, il a été procédé à la fois par contact direct avec le principal constructeur de moteurs marins utilisés par les deux flottes, à savoir Wartsila (field research), et en examinant les fiches techniques des différents moteurs produites par d’autres sociétés disponibles en ligne (desk research). En particulier, par rapport à la flotte GNL analysée de manière analytique (25 navires), jusqu’à 20 navires GNL sont équipés de moteurs Wartsila, 4 moteurs MaK et 1 A.B.C. Des considérations similaires s’appliquent à la flotte peers HFO. Le contact direct avec Wartsila a donc permis d’obtenir des coefficients d’émission précis relatifs aux moteurs concernés; lorsque le facteur d’émission spécifique relatif au type individuel d’émission par rapport à chaque moteur (classe, puissance, etc.) n’est pas disponible, les calculs ont été effectués en utilisant les valeurs relatives au moteur ayant les caractéristiques techniques les plus similaires en termes de puissance.

En outre, étant donné que l'agence a fourni les données ponctuelles relatives aux émissions d'oxyde d'azote (NO<sub>x</sub>) et de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), pour ces deux catégories d'émissions, le calcul des quantités d'émissions produites a été effectué à l'aide de kilowatts annuels de consommation (convertis par la suite en tonnes annuelles d'émissions).

Au contraire, en ce qui concerne les émissions d'oxydes (SO<sub>x</sub>), puisqu'il n'a pas été possible d'obtenir les facteurs d'émissions spécifiques associés à chaque type de moteur GNL ou HFO, il a été procédé à estimer la quantité d'émissions relatives caractérisant à la fois la flotte GNL et flotte HFO en utilisant les valeurs d'émissions exprimées en kg par tonne de carburant fournies par BIMCO Shipping KPI, qui utilise comme paramètre le soufre content factor.

De suite les principaux résultats liés aux émissions liés à la fois à la flotte GNL et flotte HFO sont présentés ci-dessous, en tenant compte des différentes catégories de segments de flotte (cruise; passenger ro-ro ships; other tanker; dry bulk; tug & auxiliary services; offshore). Enfin, les bénéfices environnementaux nets pour chaque année considérée (2020-2035) sont énumérés pour chaque typologie d'émission (2020-2035).

Etant donné que les facteurs d'émission de chaque moteur constituent des informations d'entreprise sensibles, ces derniers ne sont pas signalés dans le rapport mais sont à disponibilité de l'AG sur demande.

Pour chaque moteur, dont le détail est visible dans la Figure 12 et la Figure 13, les facteurs d'émission du "moteur 0" ont été utilisés, c'est-à-dire le moteur utilisé pour les différents tests ayant les mêmes composants. Il convient également de mettre en évidence que les valeurs de référence utilisées aux fins du présent rapport, sont représentées par les facteurs d'émissions qui caractérisent l'utilisation du moteur "75% load". Les moteurs, en fait, sont calibrés pour maximiser et optimiser leurs performances à 75-85% load (comme le pourcentage de puissance utilisé). Les 15% résiduels de la puissance sont définis *sea margin*, et prennent en compte des éventuelles conditions météorologiques et maritimes défavorables.

Le Tableau 13, Tableau 14 et Tableau 15 suivants présentent les émissions totales liées à la flotte GNL et à la flotte peers HFO pour les années 2020-2035, indiquant également pour chaque année (et pour chaque typologie navale) les avantages environnementaux annuels, compte tenu respectivement des émissions de SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> et CO<sub>2</sub>.

Pour les projections relatives à la tendance de la consommation de GNL jusqu'en 2035, compte tenu également de l'évolution du contexte concurrentiel résultant de la poursuite de la pandémie sanitaire mondiale, qui a eu un impact considérable sur la dynamique et les tendances de croissance de nombreux marchés du shipping, il a été préféré d'effectuer les estimations relatives aux émissions en utilisant le scénario de croissance "low" tel qu'évalué dans le cadre du produit T.1.3.2 de SIGNAL.

En particulier, le passage au GNL dans la zone cible détermine pour le 2020 une réduction des émissions de SO<sub>x</sub> d'environ 7.732 tonnes qui augmentent de manière significative chaque année par effet de l'augmentation de la flotte GNL dans les différents secteurs jusqu'à atteindre en 2035 une réduction des émissions de SO<sub>x</sub> d'environ 192.463 avec un avantage cumulatif sur la période de 852.834 tonnes d'émissions inférieures de SO<sub>x</sub>.

De plus, la transition vers cette nouvelle modalité de propulsion navale détermine pour le 2020 une réduction des émissions de NO<sub>x</sub> d'environ 8.122 tonnes afin d'arriver à 201.424 tonnes d'économies d'émissions de NO<sub>x</sub> en 2035; cela correspond à un bénéfice environnemental cumulé sur la période 2020-2035 de 892.369 tonnes de NO<sub>x</sub>.

Enfin, en ce qui concerne les émissions de CO<sub>2</sub>, l'introduction et la diffusion du GNL comme modalité de propulsion navale dans la zone cible détermine une réduction des émissions égale à 115.328 tonnes pour 2020. Cette valeur augment chaque année jusqu'à atteindre une valeur égale à 2.801.232 tonnes en 2035 avec un avantage cumulé en termes de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> sur la période 2020-2035 égal à 12.341.373 tonnes.

Les sections suivantes du document examinent en détail la contribution de chacun des principaux segments de marché en termes d'avantages environnementaux suite à l'introduction du GNL.

Tableau 13. Réduction des émissions de SO<sub>x</sub> dans la zone cible: estimation des bénéfices environnementaux cumulatifs (2020-2035) par typologie de navire (émissions exprimées en tonnes).

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
<b>LNG emission</b>																
Cruise	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Passenger/Ro-Ro Ship (Vehicles)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Other Tanker	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dry bulk	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tug and auxiliary services	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Offshore	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>TOTALE</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b>HFO emission</b>																
Cruise	2.408,23	3.735,32	6.211,15	7.754,50	8.865,85	9.977,21	13.299,62	17.728,39	23.631,95	31.501,38	41.991,34	55.974,46	74.613,96	99.460,41	132.580,72	176.730,10
Passenger/Ro-Ro Ship (Vehicles)	3.434,64	4.568,52	4.568,52	4.568,52	4.568,52	4.568,52	4.965,98	5.398,02	5.867,65	6.378,14	6.933,04	7.536,21	8.191,86	8.904,55	9.679,25	10.521,34
Other Tanker	1.660,47	1.660,47	1.660,47	1.660,47	1.660,47	1.660,47	1.844,78	2.049,56	2.277,06	2.529,81	2.810,62	3.122,60	3.469,21	3.854,29	4.282,11	4.757,43
Dry bulk	204,20	204,20	204,20	204,20	204,20	204,20	217,07	230,74	245,28	260,73	277,16	294,62	313,18	332,91	353,89	376,18
Tug and auxiliary services	13,66	13,66	13,66	13,66	13,66	13,66	15,02	16,52	18,18	19,99	21,99	24,19	26,61	29,27	32,20	35,42
Offshore	10,51	10,51	10,51	10,51	10,51	10,51	12,08	13,88	15,95	18,32	21,05	24,19	27,79	31,93	36,69	42,16
<b>TOTALE</b>	<b>7.731,72</b>	<b>10.192,68</b>	<b>12.668,52</b>	<b>14.211,87</b>	<b>15.323,22</b>	<b>16.434,57</b>	<b>20.354,56</b>	<b>25.437,12</b>	<b>32.056,06</b>	<b>40.708,38</b>	<b>52.055,20</b>	<b>66.976,27</b>	<b>86.642,61</b>	<b>112.613,37</b>	<b>146.964,86</b>	<b>192.462,63</b>
<b>Saving emission</b>																
Cruise	2.408,23	3.735,32	6.211,15	7.754,50	8.865,85	9.977,21	13.299,62	17.728,39	23.631,95	31.501,38	41.991,34	55.974,46	74.613,96	99.460,41	132.580,72	176.730,10
Passenger/Ro-Ro Ship (Vehicles)	3.434,64	4.568,52	4.568,52	4.568,52	4.568,52	4.568,52	4.965,98	5.398,02	5.867,65	6.378,14	6.933,04	7.536,21	8.191,86	8.904,55	9.679,25	10.521,34
Other Tanker	1.660,47	1.660,47	1.660,47	1.660,47	1.660,47	1.660,47	1.844,78	2.049,56	2.277,06	2.529,81	2.810,62	3.122,60	3.469,21	3.854,29	4.282,11	4.757,43
Dry bulk	204,20	204,20	204,20	204,20	204,20	204,20	217,07	230,74	245,28	260,73	277,16	294,62	313,18	332,91	353,89	376,18
Tug and auxiliary services	13,66	13,66	13,66	13,66	13,66	13,66	15,02	16,52	18,18	19,99	21,99	24,19	26,61	29,27	32,20	35,42
Offshore	10,51	10,51	10,51	10,51	10,51	10,51	12,08	13,88	15,95	18,32	21,05	24,19	27,79	31,93	36,69	42,16
<b>TOTALE</b>	<b>7.731,72</b>	<b>10.192,68</b>	<b>12.668,52</b>	<b>14.211,87</b>	<b>15.323,22</b>	<b>16.434,57</b>	<b>20.354,56</b>	<b>25.437,12</b>	<b>32.056,06</b>	<b>40.708,38</b>	<b>52.055,20</b>	<b>66.976,27</b>	<b>86.642,61</b>	<b>112.613,37</b>	<b>146.964,86</b>	<b>192.462,63</b>
<b>Saving % emission</b>																
Cruise	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Passenger/Ro-Ro Ship (Vehicles)	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Other Tanker	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Dry bulk	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Tug and auxiliary services	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Offshore	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<b>TOTALE</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

NB: pour le calcul des émissions de SO<sub>x</sub>, sur la base de ce qui est indiqué par le BIMBO, un facteur d'émission pour les navires HFO de 70 kg/tonnes a été utilisé en supposant l'utilisation de HFO avec une teneur en sulfure de 3,5%.

Source: Nt. traitement.

Tableau 14. Réduction des émissions de NO<sub>x</sub> dans la zone cible: estimation des bénéfices environnementaux cumulatifs (2020-2035) par typologie de navire (émissions exprimées en tonnes).

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
<b>LNG emission</b>																
Cruise	1.002	1.554	2.566	3.200	3.656	4.113	5.482	7.308	9.741	12.985	17.309	23.073	30.756	40.998	54.651	72.850
Passenger/Ro-Ro Ship (Vehicles)	1.465	1.986	1.986	1.986	1.986	1.986	2.159	2.347	2.551	2.773	3.014	3.277	3.562	3.872	4.208	4.575
Other Tanker	523	523	523	523	523	523	581	646	717	797	885	984	1.093	1.214	1.349	1.499
Dry bulk	24	24	24	24	24	24	25	27	29	31	32	35	37	39	41	44
Tug and auxiliary services	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5
Offshore	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	4	4	5	5	6	7
<b>TOTALE</b>	<b>3.017,53</b>	<b>4.091,28</b>	<b>5.102,89</b>	<b>5.736,80</b>	<b>6.193,27</b>	<b>6.649,75</b>	<b>8.252,11</b>	<b>10.332,16</b>	<b>13.043,79</b>	<b>16.591,69</b>	<b>21.248,13</b>	<b>27.375,50</b>	<b>35.456,24</b>	<b>46.132,71</b>	<b>60.260,45</b>	<b>78.979,03</b>
<b>HFO emission</b>																
Cruise	3.513	5.450	9.062	11.313	12.935	14.556	19.403	25.865	34.478	45.959	61.263	81.663	108.857	145.107	193.427	257.839
Passenger/Ro-Ro Ship (Vehicles)	5.011	6.665	6.665	6.665	6.665	6.665	7.245	7.875	8.561	9.305	10.115	10.995	11.951	12.991	14.121	15.350
Other Tanker	2.299	2.299	2.299	2.299	2.299	2.299	2.554	2.838	3.153	3.503	3.891	4.323	4.803	5.336	5.929	6.587
Dry bulk	283	283	283	283	283	283	301	319	340	361	384	408	434	461	490	521
Tug and auxiliary services	19	19	19	19	19	19	21	23	25	28	30	33	37	41	45	49
Offshore	15	15	15	15	15	15	17	19	22	25	29	33	38	44	51	58
<b>TOTALE</b>	<b>11.139,61</b>	<b>14.730,01</b>	<b>18.342,11</b>	<b>20.593,76</b>	<b>22.215,16</b>	<b>23.836,56</b>	<b>29.540,69</b>	<b>36.939,35</b>	<b>46.577,71</b>	<b>59.180,67</b>	<b>75.712,55</b>	<b>97.456,59</b>	<b>126.121,00</b>	<b>163.980,16</b>	<b>214.062,99</b>	<b>280.403,87</b>
<b>Saving emission</b>																
Cruise	2.511	3.895	6.496	8.114	9.279	10.443	13.921	18.557	24.736	32.974	43.954	58.590	78.101	104.108	138.777	184.989
Passenger/Ro-Ro Ship (Vehicles)	3.546	4.679	4.679	4.679	4.679	4.679	5.086	5.528	6.009	6.532	7.100	7.718	8.390	9.120	9.913	10.775
Other Tanker	1.776	1.776	1.776	1.776	1.776	1.776	1.973	2.192	2.435	2.706	3.006	3.340	3.710	4.122	4.580	5.088
Dry bulk	259	259	259	259	259	259	275	292	311	330	351	373	397	422	449	477
Tug and auxiliary services	17	17	17	17	17	17	19	21	23	25	28	30	33	37	40	44
Offshore	13	13	13	13	13	13	15	17	19	22	26	29	34	39	44	51
<b>TOTALE</b>	<b>8.122,08</b>	<b>10.638,73</b>	<b>13.239,22</b>	<b>14.856,96</b>	<b>16.021,89</b>	<b>17.186,82</b>	<b>21.288,58</b>	<b>26.607,19</b>	<b>33.533,92</b>	<b>42.588,98</b>	<b>54.464,42</b>	<b>70.081,09</b>	<b>90.664,76</b>	<b>117.847,45</b>	<b>153.802,55</b>	<b>201.424,84</b>
<b>Saving % emission</b>																
Cruise	71%	71%	72%	72%	72%	72%	72%	72%	72%	72%	72%	72%	72%	72%	72%	72%
Passenger/Ro-Ro Ship (Vehicles)	71%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%
Other Tanker	77%	77%	77%	77%	77%	77%	77%	77%	77%	77%	77%	77%	77%	77%	77%	77%
Dry bulk	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%
Tug and auxiliary services	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
Offshore	88%	88%	88%	88%	88%	88%	88%	88%	88%	88%	88%	88%	88%	88%	88%	88%
<b>TOTALE</b>	<b>73%</b>	<b>72%</b>	<b>72%</b>	<b>72%</b>	<b>72%</b>											

Source: Nt. traitement.

Tableau 15. Réduction des émissions de CO<sub>2</sub> dans la zone cible: estimation des bénéfices environnementaux cumulés (2020-2035) par typologie de navire (émissions exprimées en tonnes).

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
<b>LNG emission</b>																
Cruise	209.856	325.500	537.359	670.118	765.717	861.316	1.148.134	1.530.463	2.040.107	2.719.463	3.625.045	4.832.184	6.441.302	8.586.255	11.445.478	15.256.822
Passenger/Ro-Ro Ship (Vehicles)	314.070	422.579	422.579	422.579	422.579	422.579	459.344	499.306	542.746	589.965	641.292	697.084	757.731	823.653	895.311	973.203
Other Tanker	120.742	120.742	120.742	120.742	120.742	120.742	134.144	149.034	165.577	183.956	204.375	227.061	252.265	280.266	311.376	345.939
Dry bulk	15.170	15.170	15.170	15.170	15.170	15.170	16.126	17.142	18.222	19.370	20.590	21.887	23.266	24.732	26.290	27.946
Tug and auxiliary services	1.157	1.157	1.157	1.157	1.157	1.157	1.273	1.400	1.540	1.694	1.864	2.050	2.255	2.481	2.729	3.002
Offshore	1.145	1.145	1.145	1.145	1.145	1.145	1.316	1.512	1.737	1.996	2.294	2.635	3.028	3.479	3.998	4.593
<b>TOTALE</b>	<b>662.139,91</b>	<b>886.293,39</b>	<b>1.098.152,95</b>	<b>1.230.912,10</b>	<b>1.326.511,03</b>	<b>1.422.109,95</b>	<b>1.760.337,08</b>	<b>2.198.858,06</b>	<b>2.769.930,04</b>	<b>3.516.444,66</b>	<b>4.495.459,18</b>	<b>5.782.902,37</b>	<b>7.479.846,44</b>	<b>9.720.866,34</b>	<b>12.685.181,29</b>	<b>16.611.505,09</b>
<b>HFO emission</b>																
Cruise	242.999	376.907	626.727	782.456	894.596	1.006.735	1.341.978	1.788.857	2.384.547	3.178.601	4.237.075	5.648.021	7.528.811	10.035.906	13.377.862	17.832.690
Passenger/Ro-Ro Ship (Vehicles)	346.567	460.980	460.980	460.980	460.980	460.980	501.085	544.680	592.067	643.577	699.568	760.430	826.587	898.501	976.670	1.061.640
Other Tanker	165.183	165.183	165.183	165.183	165.183	165.183	183.518	203.889	226.521	251.664	279.599	310.635	345.115	383.423	425.983	473.267
Dry bulk	20.314	20.314	20.314	20.314	20.314	20.314	21.594	22.954	24.400	25.938	27.572	29.309	31.155	33.118	35.204	37.422
Tug and auxiliary services	1.359	1.359	1.359	1.359	1.359	1.359	1.494	1.644	1.808	1.989	2.188	2.407	2.647	2.912	3.203	3.524
Offshore	1.046	1.046	1.046	1.046	1.046	1.046	1.202	1.381	1.586	1.823	2.094	2.406	2.765	3.177	3.650	4.194
<b>TOTALE</b>	<b>777.468,08</b>	<b>1.025.788,02</b>	<b>1.275.608,66</b>	<b>1.431.337,87</b>	<b>1.543.477,37</b>	<b>1.655.616,88</b>	<b>2.050.871,82</b>	<b>2.563.404,46</b>	<b>3.230.928,91</b>	<b>4.103.590,94</b>	<b>5.248.095,41</b>	<b>6.753.207,02</b>	<b>8.737.081,38</b>	<b>11.357.035,93</b>	<b>14.822.572,95</b>	<b>19.412.737,50</b>
<b>Saving emission</b>																
Cruise	33.143	51.407	89.368	112.338	128.879	145.419	193.844	258.394	344.439	459.137	612.030	815.836	1.087.510	1.449.650	1.932.384	2.575.868
Passenger/Ro-Ro Ship (Vehicles)	32.498	38.401	38.401	38.401	38.401	38.401	41.742	45.373	49.321	53.611	58.276	63.346	68.857	74.847	81.359	88.437
Other Tanker	44.441	44.441	44.441	44.441	44.441	44.441	49.374	54.855	60.943	67.708	75.224	83.574	92.850	103.157	114.607	127.328
Dry bulk	5.144	5.144	5.144	5.144	5.144	5.144	5.468	5.813	6.179	6.568	6.982	7.422	7.889	8.386	8.915	9.476
Tug and auxiliary services	201	201	201	201	201	201	221	244	268	295	324	357	392	431	475	522
Offshore	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-114	-131	-151	-173	-199	-229	-263	-302	-347	-399
<b>TOTALE</b>	<b>115.328,17</b>	<b>139.494,63</b>	<b>177.455,71</b>	<b>200.425,77</b>	<b>216.966,35</b>	<b>233.506,92</b>	<b>290.534,74</b>	<b>364.546,40</b>	<b>460.998,88</b>	<b>587.146,28</b>	<b>752.636,23</b>	<b>970.304,66</b>	<b>1.257.234,94</b>	<b>1.636.169,58</b>	<b>2.137.391,66</b>	<b>2.801.232,41</b>
<b>Saving % emission</b>																
Cruise	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%	14%
Passenger/Ro-Ro Ship (Vehicles)	9%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%
Other Tanker	27%	27%	27%	27%	27%	27%	27%	27%	27%	27%	27%	27%	27%	27%	27%	27%
Dry bulk	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%
Tug and auxiliary services	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%
Offshore	-10%	-10%	-10%	-10%	-10%	-10%	-10%	-10%	-10%	-10%	-10%	-10%	-10%	-10%	-10%	-10%
<b>TOTALE</b>	<b>15%</b>	<b>14%</b>	<b>14%</b>	<b>14%</b>												

Source: Nt. traitement.

#### ***4.1. Réduction des émissions par rapport au secteur croisière***

Les données présentées dans les tableaux précédents soulignent distinctement les émissions liées aux oxydes de soufre (SO<sub>x</sub>), oxyde d'azote (NO<sub>x</sub>) et dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) attribuables à la fois à la flotte GNL et à la flotte peers HFO. En outre, ils indiquent les avantages environnementaux annuels globaux qui ressortent de la comparaison entre les deux flottes, exprimés à la fois en termes absolus et en pourcentage. Les analyses réalisées permettent de quantifier ces bénéfices pour la zone Cible dans le projet SIGNAL dans l'horizon temporel 2020-2035 en référence à chaque typologie de navire.

La comparaison entre la flotte GNL et la flotte HFO met clairement en évidence les avantages environnementaux attribuables à la réduction des émissions d'oxyde de soufre par rapport au secteur des croisières pour les ports de la zone Cible. En particulier, pour la seule année 2020, la transition vers l'utilisation du GNL détermine une réduction de 100% des émissions de SO<sub>x</sub>, avec un avantage environnemental de 2.408 tonnes en 2020 qui s'élève à 176.730 tonnes en 2035 en raison de la croissance importante de la flotte de croisière GNL. Sur l'ensemble de l'horizon temporel considéré, l'avantage environnemental cumulé estimé empiriquement est de 706.465 tonnes.

La comparaison entre la flotte GNL et la flotte HFO, en référence au secteur des croisières, en outre, confirme sur un plan empirique les résultats trouvés à un niveau théorique en référence aux émissions de NO<sub>x</sub>. La flotte GNL permet en effet une réduction de 71% des émissions de NO<sub>x</sub>, ce qui signifie en 2020 une réduction de 2.511 tonnes d'émissions dans les ports de la zone cible. Cette valeur s'élève à 184.989 tonnes de NO<sub>x</sub> abattues (72% de réduction par rapport à l'hypothèse d'utilisation d'une flotte HFO).

Cela se traduit, dans l'horizon temporel 2020-2035, par une réduction cumulée des émissions de NO<sub>x</sub> provenant du seul secteur des croisières égale à 739.445 tonnes de NO<sub>x</sub>. Dans ce cas également, l'incidence en pourcentage du secteur des croisières par rapport au total est évidente (le secteur des croisières dans ce cas représente en fait 83% du bénéfice cumulé total de la période).

En relation aux émissions de dioxyde de carbone, au contraire, une réduction des émissions d'environ 14% est constaté, ce qui semble plus contenu que les valeurs issues de l'analyse de la littérature (range théorique de 20-30%). Cette différence se justifie par le fait que ce type d'analyse se concentre uniquement sur la composant moteur, négligeant ainsi tout mécanisme visant à réduire les émissions avant ou après la phase de combustion.

#### ***4.2. Réduction des émissions par rapport au secteur ferry & ro-pax***

Les tableaux précédents montrent également les émissions liées aux oxydes de soufre (SO<sub>x</sub>), oxyde d'azote (NO<sub>x</sub>) et dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) attribuables à la fois à la flotte GNL et à la

flotte peers HFO du secteur “ferry & ro-pax”. Également dans ce cas, les avantages environnementaux annuels globaux sont indiqués qui ressortent de la comparaison entre les deux flottes, exprimés à la fois en termes absolus et en pourcentage. Les analyses réalisées permettent de quantifier ces bénéfices pour la zone Cible dans le projet SIGNAL dans l’horizon temporel 2020-2035.

En ce qui concerne les avantages environnementaux dans la zone Cible, attribuables à la réduction des oxydes de soufre dans le secteur concerné, la comparaison entre la flotte GNL et flotte HFO montre que, pour le seul 2020, la transition vers l'utilisation du GNL implique une réduction des émissions de SO<sub>x</sub> de 3.435 tonnes, qui s'élèvent à 10.521 tonnes en 2035. De plus, en référence à l'ensemble de l'horizon temporel considéré, l'avantage environnemental cumulé estimé est de 10.653 tonnes.

En ce qui concerne les avantages environnementaux attribuables à la réduction des oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) dans les ports de la zone cible, la comparaison entre la flotte GNL et la flotte peers HFO du secteur ferries et ro-pax, confirme sur un plan empirique les résultats trouvés à un niveau théorique. En particulier, la flotte GNL permet une réduction de 71% des émissions de NO<sub>x</sub> en 2020, soit une réduction absolue de 3.546 tonnes. Cet avantage environnemental s'est en revanche élevé à 10.775 tonnes en 2035 pour un avantage environnemental équivalent à 103.112 tonnes sur l'ensemble de l'horizon considéré.

En ce qui concerne les émissions de dioxyde de carbone, en revanche, il y a une réduction relative au secteur concerné de 32.498 tonnes qui augmentent à 88.437 en 2035. L'avantage environnemental cumulé sur la période s'élève donc à 849.670 tonnes et en moyenne la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> liées au secteur sont égaux à 8%. Cette valeur diffère de la valeur théorique estimée par les principaux académiques. La raison de la différence en question peut résulter de certaines considérations qui peuvent être résumées comme suit: a) en l'absence de données précises concernant certains moteurs, des proxy ont dû être réalisées en fonction des puissances disponibles et des facteurs de conversion associés; b) la méthodologie appliquée à grande échelle dans le cas présent se réfère uniquement à la consommation pendant la navigation (et aux émissions qui y sont liées) sans inclure dans les calculs les avantages dérivant de la réduction des émissions pendant l'arrêt dans le port, qui comme on le sait dans le cas de cette typologie navale peut être tout à fait pertinente; c) les estimations en question, cependant, ne comprennent pas les solutions supplémentaires de réduction des émissions que les navires en question pourraient éventuellement avoir.

### ***4.3. Réduction des émissions par rapport au secteur “other tanker”***

Les données examinées mettent également en évidence les avantages environnementaux annuels associés au secteur “other tanker”. En particulier, en ce qui concerne la réduction des émissions d’oxyde de soufre, en relation au secteur en question pour les ports de la zone Cible, il est souligné comme, pour la seule année 2020, la transition à l’utilisation du GNL détermine une réduction des émissions de SO<sub>x</sub> de 1.660 tonnes qui augmentent à 4.757 tonnes d’avantages

en 2035. Sur l'ensemble de l'horizon temporel considéré, l'avantage environnemental cumulé estimé empiriquement est au contraire égal à 40.960 tonnes d'émissions.

En ce qui concerne la réduction des émissions de NO<sub>x</sub>, la comparaison entre les deux flottes montre une réduction en pourcentage d'environ 77%, avec une réduction pour le 2020 qui s'élève en valeur absolue à 1.776 tonnes de NO<sub>x</sub>, jusqu'à arriver à 5.088 tonnes en 2035. Cela se traduit par une réduction cumulative des émissions de NO<sub>x</sub> de 43.807 tonnes sur l'horizon temporel 2035.

En ce qui concerne les émissions de dioxyde de carbone, il existe une réduction de CO<sub>2</sub> parfaitement conforme aux valeurs indiquées dans la littérature (20-30%) avec une valeur moyenne de 27%. Cela correspond à une réduction des émissions d'ici 2020 de 44.441 tonnes; savings qui atteignent 127.328 tonnes en 2035. Globalement, pour les ports de la zone cible, cela se traduit par un avantage environnemental cumulé sur les quinze années de 1.096.265 tonnes. Le secteur représente le plus performant du point de vue du pourcentage de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> et le secteur lui-même contribue de manière significative aux performances environnementales attribuables à l'introduction du GNL (9% des valeurs totales).

## Bibliographie

Æsøy V. and Stenersen D., 2013, “Low emission LNG fuelled ships for environmental friendly operations in arctic areas”, Proceedings of the International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering.

Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto, 2003, “Le emissioni da attività portuale”.

Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto, 2013, “Risposta al 3° quesito della Procura di Venezia N. 1257 08 R.G.n.r./MOD. 45”.

Ammar N.R. and Seddiek I.S., 2017, “Eco-environmental analysis of ship emission control methods: Case study RO-RO cargo vessel”, Ocean Engineering.

Ancona M.A., Bianchi M., Branchini L., Catena F., Pascale A.D., Melino F., Ottaviano S. and Peretto A., 2020, “Overall performance evaluation of small-scale LNG production processes”, Applied Sciences (Switzerland).

Autorità Portuale Salerno, 2013, “Interventi di adeguamento tecnico-funzionale del Porto commerciale di Salerno”.

Balcombe P., Brierley J., Lweis, Skatvedt L., Speirs, Hawkes A. and Staffel I, 2019, “How to decarbonise international shipping: options for fuels, technologies and policies”, Energy Conversion and Management.

Baldi F., Brynolf S. and Maréchal F., 2019, “The cost of innovative and sustainable future ship energy systems”, Proceedings of the 32<sup>nd</sup> International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems.

Barsi D., Costa C., Satta F., Zunino P. and Sergeev V., 2018, “Feasibility of mini combined cycles for naval applications”, MATEC Web of Conferences.

Bengtsson S., Andersson K. and Fridell E., 2011, “A comparative life cycle assessment of marine fuels: liquefied natural gas and three other fossil fuels”, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment.

Brynolf S., Fridell E. and Andersson K., 2014, “Environmental assessment of marine fuels: liquefied natural gas, liquefied biogas, methanol and bio-methanol”, Journal of Cleaner Production.

Burel F., Taccani R. and Zuliani N., 2013, “Improving sustainability of maritime transport through utilization of Liquefied Natural Gas (LNG) for propulsion”, Energy.

Gaspar H.M., Ehlers D., Æsøy V., Erceg S., Balland O. and Hildre H.P., 2014, “Challenges for using lng fuelled ships for arctic routes”, Proceedings of the International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering-

Geng X., Wen Y., Zho C. and Xiao C., 2017, “Establishment of the Sustainable Ecosystem for the Regional Shipping Industry Based on System Dynamics”, Sustainability.

Gritsenko D. and Yliskyla-Peuralahti J., 2013, “Governing shipping externalities: Baltic ports in the process of Sox emission reduction”, Maritime Studies.

Huan T., Hongjun F., Wei L. and Guoqiang Z., 2018, “Options and Evaluations on Propulsion Systems of LNG Carriers”, Research Gate.

Hwang S., Jeong B., Jung K., Kim M. and Zhou P., 2019, “Life cycle assessment of lng fuelled vessel in domestic services”, Journal of Marine Science and Engineering.

Iannaccone T., Landucci G. and Cozzani V., 2018, “Inherent safety assessment of LNG fuelled ships and bunkering operations: a consequence-based approach”, Chemical Engineering Transactions.

Iannaccone T., Landucci G., Tugnoli A., Salzano E. and Cozzani V., 2020, “Sustainability of cruise ship fuel systems: Comparison among LNG and diesel technologies”, Journal of Cleaner Production.

Nguyen T.-V., Rothuizen E.D., Markussen W.B. and Emegaard B., 2017, “Development, modelling and evaluation of a small-scale gas liquefaction plant, 30<sup>th</sup> International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems.

Pasini G., Frigo S., Antonelli M. and Berardi M., 2018, “Numerical investigation on LNG injection in a SI-ICE”, ASME 2018 International Combustion Engine Division Fall Technical Conference.

Pawlak M., 2015, “Analysis of economic costs and environmental benefits of LNG as the marine vessel fuel”, Solid State Phenomena.

Prakash S. and Kolluru V.S., 2014, “Implementation of integrated modelling approach to impact assessment applications for LNG operations using 3-D comprehensive modelling framework”, Proceedings- 7<sup>th</sup> International Congress on Environmental Modelling and Software: Bold Visions for Environmental Modelling.

Simmer L., Pfoser S., Aschauer G. and Schauer O., 2014, “LNG as fuel: demand opportunities and supply challenges in Austria”, Energy and Sustainability V.

Stenersen D. and Thonstad O., 2017, “GHG and NOx emissions from gas fueled engines”.

Tranfield D., Denyer D. and Smart P., 2003, “Toward a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review”, British Journal of Management, vol.14, pp.207-222.

Xu J., Testa D. and Mukherjee P.K., 2015, “The use of LNG as a marine fuel: the international regulatory framework”, Ocean Development and International Law.

# Activité T1.5 - Rapport T1.5.1 "Rapport technique d'analyse des besoins"

L'étude suivante a été développée dans le cadre du projet SIGNAL - Stratégies transfrontalières pour l'exploitation du Gaz Naturel Liquéfié (GNL), cofinancé par le programme INTERREG Maritime Italie-France 2014-2020.

Informations sur le document	
<b>Code livrable</b>	T 1.5.1
<b>Titre livrable</b>	Rapport technique d'analyse des besoins
<b>Code activité</b>	T 1.5
<b>Titre activité</b>	Analyse what-if pour le réseau maritime
<b>Code composant</b>	T 1
<b>Titre composant</b>	Analyse de l'état de l'art européen
<b>Responsable de la rédaction du document</b>	DIME
<b>Version</b>	V1
<b>Date</b>	30/10/2019

Version	Date	Auteur(e)	Description des changements
V1	30/10/2019	Ermanno Locascio	



Ce(tte) œuvre est mise à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Partage dans les Mêmes Conditions 4.0 International ([CC BY-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/))

## Sommaire

<b>Index des images</b>	<b>4</b>
<b>Index des tableaux</b>	<b>5</b>
<b>Avant-propos</b>	<b>6</b>
<b>Résumé</b>	<b>8</b>
<b>Objectifs de l'étude</b>	<b>8</b>
<b>Approche méthodologique</b>	<b>9</b>
<b>Étude de cas : Zone portuaire de Livourne</b>	<b>10</b>
Interventions de modernisation	10
Intervention 1 : parc véhicules dual-fuel	11
Intervention 2 : Le stockage frigorifique en vrac intégré au processus de regazéification	13
Intervention 3 : cogénération bureaux	15
Intervention 4 : LED autorité portuaire	18
Intervention 5 : Système PV pour conteneurs réfrigérés	19
Intervention 6 : Installation LED pour bureau	20
<b>Analyse multiscénarios</b>	<b>33</b>
<b>Discussions et conclusions</b>	<b>35</b>
<b>Bibliographie et sitographie</b>	<b>36</b>

## Index des images

Figure 2. RTG. Source : logisticamanagement.it	11
Figure 3. Reach steakers. Source : Contship Italia group.	11
Figure 4. Tonnes de CO2 évitées par l'année	12
Figure 5. Entrepôt réfrigéré. Source : indiasmart.com	13
Figure 6. Schéma de procédé de l'installation GNL-CO2-H2O.	14
Figure 7. Besoins énergétiques nets actuels pour 70-50-30% des bâtiments, zone portuaire de Livourne.	15
Figure 8. Tonnes de CO2 évitées pour la mise en place d'unités de cogénération pour les différents scénarios.	16
Figure 9. Tonnes de CO2 évitées par la cogénération des bureaux scénario moyen (50% des bâtiments adaptés à la cogénération).	16
Figure 10. Émissions carbone avant et après reconversion.	19
Figure 11. Conteneurs réfrigérés. Source : Sogeco.it.	19
Figure 12. Estimation de la production du système photovoltaïque.	20
Figure 13. Bénéfices environnementaux de l'intervention 6.	21

## Index des tableaux

Tableau 1. Hypothèse de calcul. ....	12
Tableau 2. Conditions de calcul. ....	14
Tableau 3. ICP pour l'évaluation des bénéfices environnementaux (CO2 évité) pour l'intervention concernant la cogénération des bureaux (scénario moyen 50% des bureaux adaptés à la cogénération). ....	17
Tableau 4. Évaluation des réductions de la consommation d'électricité pouvant être obtenues par l'installation de LED. ....	18
Tableau 5. Base de données ICP de la zone portuaire de Porto Ferraio.....	22
Tableau 6. Base de données ICP zone portuaire d'Oristano. ....	24
Tableau 7. Base de données ICP zone portuaire de Gênes. ....	26
Tableau 8. Base de données ICP zone portuaire de Cagliari. ....	28
Tableau 9. Base de données ICP zone portuaire de Bastia. ....	29
Tableau 10. Base de données ICP zone portuaire de Nice.....	30
Tableau 11. Base de données ICP zone portuaire de Toulon. ....	32
Tableau 12. Aperçu des scénarios et des bénéfices environnementaux.....	34

## Avant-propos

Les territoires impliqués dans le programme transfrontalier sont caractérisés par une commune insuffisance portuaire en termes de disponibilité GNL et sites de stockage permettant de réapprovisionner navires et moyens de transport. Pour déployer de nouvelles infrastructures, il est utile d'effectuer une analyse de la consommation énergétique des zones dans lesquelles elles seront implantées.

Le développement de stratégies et plans énergétiques envisageant une utilisation rentable du GNL dans les zones portuaires repose sur la quantification préalable de la consommation énergétique, actuelle et prospective, et sur la définition de scénarios futurs incluant l'intégration partielle ou totale, ainsi que le remplacement des sources d'énergie primaire actuelles par une économie basée sur l'exploitation de la disponibilité du GNL en zone portuaire ou limitrophe.

L'une des raisons qui justifie ce type d'étude est le caractère aléatoire et discontinu de la demande de services d'avitaillement en GNL, qui pourrait conduire à sur-dimensionner les infrastructures dédiées et, en même temps, à opérer avec un faible coefficient d'utilisation dans le temps. Dans ce cas, il est possible d'atténuer l'effet produit par un seul utilisateur, très discontinu, en l'insérant dans un réseau plus vaste d'utilisateurs pouvant exploiter l'offre pendant les périodes restantes.

Le projet SIGNAL veut combler ces insuffisances par le développement de plans et de stratégies capables de favoriser la mise en œuvre de la Directive européenne 2012/33, tout en accompagnant les territoires caractérisés par des réseaux de méthanisation limités ou absents pour saisir l'opportunité offerte par le GNL et réduire la pollution atmosphérique provenant des industries et des transports dans les territoires insulaires concernés par l'intervention.

Il est en effet évident que limiter la définition des plans et de la stratégie commune aux seules zones et activités portuaires sans prendre en considération un système intégré prévoyant également la planification d'autres usages industriels et civils pour les territoires transfrontaliers, notamment en ce qui concerne les systèmes insulaires, est restrictif et peu stratégique pour poursuivre la réalisation des objectifs économiques, environnementaux et sociaux prévus par la stratégie "Europe 2020".

Conformément à la "Stratégie de l'UE pour le gaz naturel liquéfié (COM 2016/49)" et aux engagements internationaux pris lors de la Conférence de Paris sur le climat, le projet SIGNAL prévoit la définition de plans et de stratégies communs pour l'utilisation du GNL dans les ports et la navigation maritime, ainsi que pour d'autres utilisations civiles et industrielles. Le projet pourra ainsi contribuer à la mise en œuvre et à la capitalisation du "principe directeur" de la politique de cohésion européenne, soit activer des processus de coopération entre les territoires afin de contribuer à l'amélioration de leur interconnexion et à la durabilité des activités portuaires dans les régions les plus défavorisées.

L'élément novateur du projet réside dans l'approche méthodologique visant à définir les plans et les stratégies, ainsi que dans le rôle assigné aux ports commerciaux comme « hub » pour la valorisation du GNL :

- ports comme points d'approvisionnement maritime du réseau GNL ;
- ports comme lieu de stockage et d'utilisation directe du GNL ;
- ports comme "nœuds" et portes d'accès pour l'utilisation du GNL sur le territoire.

Dans la zone de coopération transfrontalière, la planification d'un système d'unités de stockage et de regazéification en zone portuaire et côtière représentera une base de développement stratégique du système de distribution et d'utilisation du GNL.

Ce document fait suite au produit précédent (T1.3.1) du volet T1 du projet SIGNAL.

## Résumé

Dans une perspective de réduction des émissions polluantes dans les zones portuaires, l'utilisation du GNL est résolument une option intéressante. Cependant, une bonne exploitation de ce vecteur énergétique nécessite d'appréhender clairement les solutions technologiques possibles et leur potentiel réel une fois mises en contexte dans les différentes zones portuaires. Il est donc intuitif de comprendre que l'option du GNL doit être considérée conjointement avec les autres possibilités technologiques garantissant une production énergétique renouvelable. En ce sens, l'adoption d'une approche holistique pour définir des scénarios de requalification pourrait faire apparaître un cadre techniquement plus approprié et donc plus susceptible de déclencher des synergies technologiques, économiques ou financières, laissant ainsi une plus grande flexibilité dans la conception d'une stratégie d'intervention optimale. Ainsi, ce document présente six interventions possibles de requalification concernant les zones onshore. Certaines de ces interventions sont, dans la mesure du possible, extrapolées à l'ensemble de la zone de coopération, ce qui permet d'effectuer une estimation quantitative caractérisée par un degré acceptable d'incertitude. Cette estimation quantitative, étendue à l'ensemble de la zone de coopération, offre un excellent outil définir une stratégie d'intervention optimale visant à réduire l'impact environnemental lié aux activités portuaires.

## Objectifs de l'étude

Cette étude présente une évaluation quantitative des bénéfices environnementaux pouvant être obtenus à partir de différents scénarios de déploiement du GNL dans la zone de coopération. L'objectif de ces interventions est d'intégrer le GNL aux ports dans le but ultime de réduire l'impact environnemental associé aux opérations portuaires, actuellement basées principalement sur l'utilisation du fuel. Plus précisément, les interventions possibles concernant les zones de propriété de l'État (onshore) seront analysées et, parmi toutes les stratégies possibles de modernisation, seront donc examinées :

- la possibilité de reconverter le parc de véhicules relatifs terminaux de manutention conteneurs avec la technologie dual-fuel,
- la possibilité d'intégrer le processus de regazéification du GNL et un hangar de stockage pour vrac réfrigéré pour l'exploitation de l'état cryogénique du GNL,
- l'installation et l'utilisation de cogénérateurs alimentés au gaz naturel au service des bureaux.

D'autres mesures de requalification énergétique sont également analysées, et qui représentent en tout état de cause une opportunité intéressante en termes de réduction des émissions carbone. Plus précisément, les options suivantes seront envisagées :

- Remplacement des éléments des tours d'éclairage par la technologie LED, pour certaines zones.
- Installation d'un système photovoltaïque au service des conteneurs réfrigérés.
- Remplacement des éléments d'éclairage de bureau par la technologie LED.

D'autres études sur le sujet sont disponibles à [1] et [2].

## Approche méthodologique

L'étude proposée s'articule autour de trois points principaux. La première étape de ce processus analytique consiste à définir des scénarios de requalification énergétique et d'intégration du GNL à l'intérieur des ports. Toutefois, la méthodologie proposée, basée sur la définition d'indicateurs énergétiques spécifiques (kWh/m<sup>2</sup> par an ou kg de CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> par an), ne permet d'extrapoler des résultats quantitatifs que pour certaines de ces activités. Par exemple, la possibilité d'utiliser la technologie LED dans les zones portuaires peut être facilement extrapolée à l'ensemble de la zone de coopération tout en maintenant un niveau acceptable de précision des résultats. D'autres interventions de requalification seront différentes, comme l'utilisation de la technologie dual-fuel pour le parc véhicules des terminaux dédiés à la manutention conteneurs. Dans ce cas, en effet, les bénéfices environnementaux dépendent du type et du nombre de véhicules utilisés dans chaque terminal, ainsi que des heures de travail respectives. Il est donc évident qu'ils sont directement liés au trafic de fret maritime, ce qui rend difficile d'effectuer une extrapolation réaliste sur d'autres zones.



Figure 1. Approche méthodologique.

## Étude de cas : Zone portuaire de Livourne

Conformément à ce qui a été développé dans les travaux précédents, les scénarios concernant les interventions de modernisation seront évalués à partir de l'étude de cas de la zone portuaire de Livourne, pour être ensuite extrapolés, si possible, en considérant l'ensemble de la zone ciblée.

### Interventions de modernisation

Numéro de l'intervention	Description	Zone ciblée	Détails techniques généraux
Intervention 1	Conversion du parc de véhicules DTT en dual-fuel	ZONE 1	-
Intervention 2	Intégration du procédé de regazéification et d'un hangar réfrigéré pour le vrac	ex. : Dolo Term srl, calata fondale 1 - Entrepôt réfrigéré pour le dépôt des fruits	-
Intervention 3	Utilisation de cogénérateurs au gaz dédiés aux bureaux	ZONES 1 - 18	Utilisation de petites centrales de micro-cogénération distribuées (ex. Capston Turbine), en remplacement des chaudières fuel/gaz naturel. On évite donc de déployer des infrastructures pour le chauffage urbain.
Intervention 4	Remplacement des lampes par la technologie LED pour les bureaux de la zone appartenant à l'autorité portuaire.	-	-
Intervention 5	Installation d'un système photovoltaïque pour alimenter les conteneurs réfrigérés du DTT	ZONE 1	-
Intervention 6	LED pour tous les bureaux	Tous	-

## Intervention 1 : parc véhicules dual-fuel

La conversion au dual-fuel du parc véhicules actuel alimenté en diesel sera effectuée au terminal dédié à la manutention conteneurs (Terminal Darsena Toscana). Habituellement, les véhicules utilisés dans ce type de zone sont : voiture, camion, chariot élévateur à fourche, grue d'empilage conteneurs (RTG, figure 2), reach stackers (figure 3). Une chaudière alimentée au fuel utilisée pour la production d'eau chaude sanitaire est également présente. Dans ce dernier cas, il sera évidemment nécessaire d'adapter le système de combustion (brûleurs) en fonction du nouveau type de combustible.

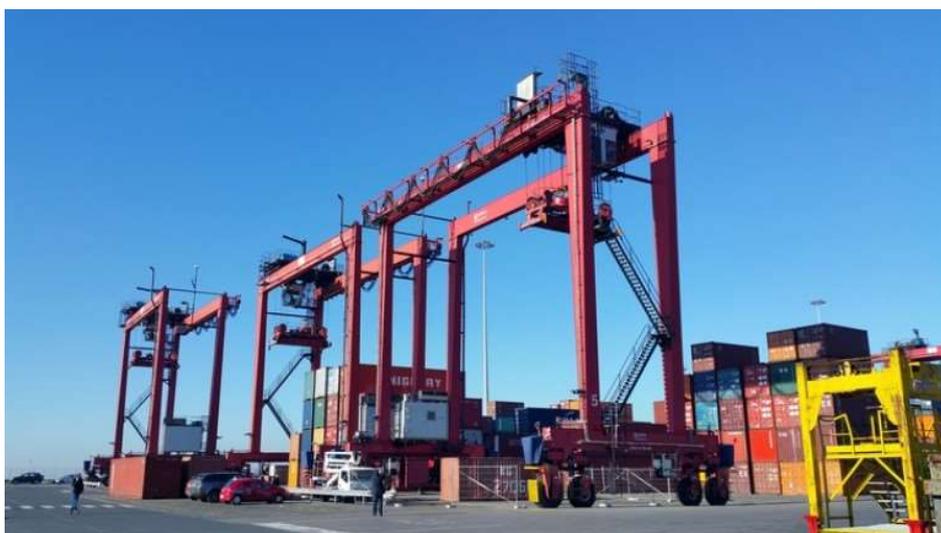


Figure 1. RTG. Source : logisticmanagement.it



Figure 2. Reach stackers. Source : Contship Italia group.

La figure 4 montre les valeurs de CO2 évitées en cas de conversion totale des véhicules et d'utilisation exclusive du GNL carburant pour les véhicules et la chaudière. Le tableau 1 présente en outre les conditions de calcul. Plus précisément, dans le cas des véhicules (camions, reach stackers, etc.), on suppose que la performance globale des moteurs sera réduite de 15% en raison de l'utilisation d'un carburant différent. Globalement, dans le cas examiné, on estime que l'utilisation du gaz naturel comme carburant pour le parc de véhicules pourrait entraîner une réduction des émissions de CO2 d'environ 20% par rapport au scénario actuel basé sur l'utilisation du gasoil.

Facteur de conversion du gasoil tCO2/t gasoil	Densité gasoil kg/m3	LHV gasoil* kWh/kg	LHV gaz naturel * kWh/kg	Réduction du rendement du moteur par rapport au gasoil %.
3155	835	12,67	15,4	10-15

Tableau 1. Hypothèse de calcul.

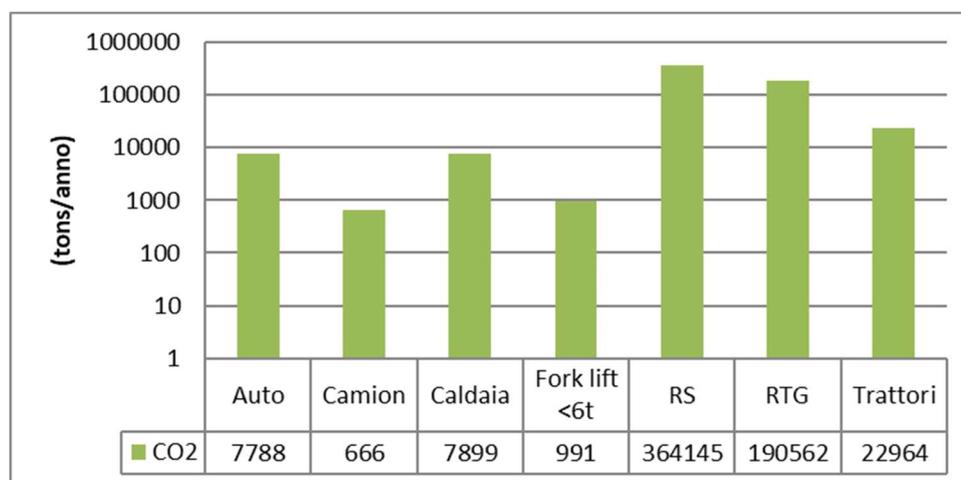


Figure 3. Tonnes de CO2 évitées par l'année

## Intervention 2 : Le stockage frigorifique en vrac intégré au processus de regazéification

Les entrepôts frigorifiques en vrac sont habituellement utilisés pour l'entreposage des fruits. Normalement, ces entrepôts sont subdivisés en différents types en fonction de la température et donc des marchandises entreposées (ex. surgelés ou fruits) et selon l'endroit où elles se trouvent [3].



Figure 4. Entrepôt réfrigéré. Source : indiasmart.com

Dans le cas spécifique du port de Livourne, à l'accostage 48 de calata alto fondale 1, présence d'un dépôt réfrigéré pour les fruits de 35000 m<sup>3</sup>, géré par la société Dolo Term srl. Dans ce cas, compte tenu d'un besoin thermique net spécifique de  $60 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3\text{anno}}$ , on estime un besoin total d'environ 2,1 GWh/an (froid). Dans ces conditions, il convient d'évaluer la possibilité d'intégrer un éventuel processus de regazéification onshore à petite échelle avec le système thermotechnique du dépôt afin de réduire la consommation électrique pour alimenter le système frigorifique actuel de l'entrepôt. Naturellement, compte tenu des conditions cryogéniques du GNL (-164°C), il faudra utiliser un système approprié permettant de fonctionner à ces températures sans risque de congélation du fluide caloporteur dans les conduites. À cette fin, une solution possible pourrait être l'utilisation d'un double loop prévoyant l'utilisation du CO<sub>2</sub> comme fluide caloporteur côté GNL et de l'eau et du glycol comme fluide caloporteur côté utilisateur (figure 6). Dans une récente étude préliminaire réalisée par l'Université de Gênes, il apparaît pour l'instant qu'il n'y a pas de limites particulières à l'utilisation d'une configuration de ce type. Toutefois, l'augmentation relative de la complexité de la configuration de l'installation et la coordination nécessaire entre les deux utilisateurs (regazéification et réfrigération de

stockage) demanderaient certainement l'adoption de certaines mesures techniques et de gestion qui, en aval, entraîneraient une augmentation modeste des coûts liés à l'exploitation ordinaire de l'installation. Toutefois, les bénéfices environnementaux découlant d'une intervention de requalification de ce type, dans la situation examinée, pourraient éviter le rejet dans l'atmosphère d'environ 187 tonnes de CO<sub>2</sub> par an. Les conditions de calcul sont indiquées au tableau 2.

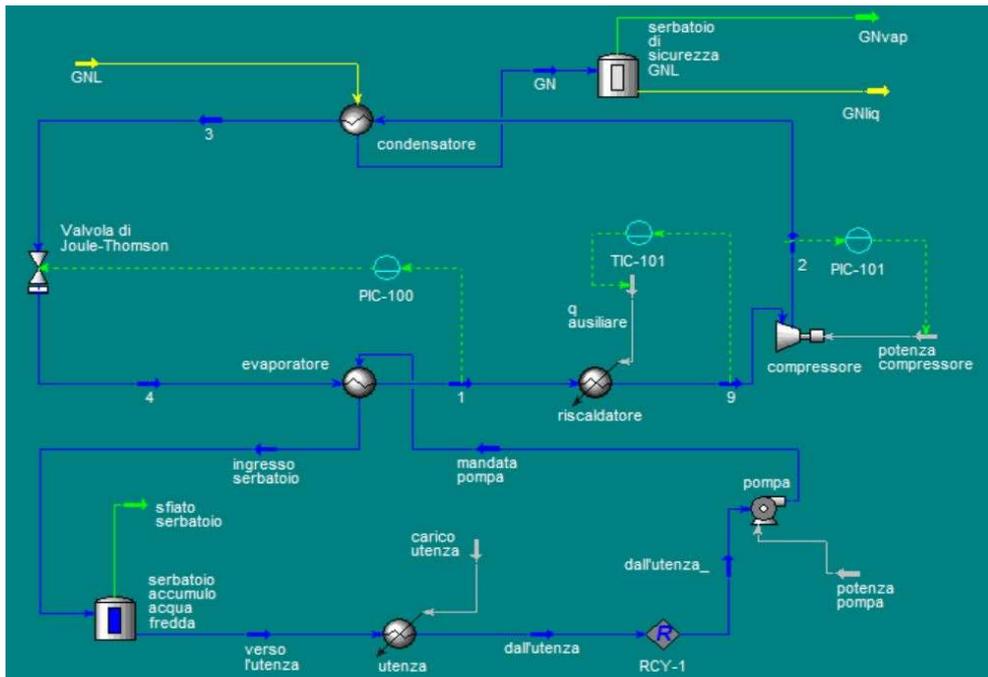


Figure 5. Schéma de procédé de l'installation GNL-CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O.

Volume dépôt	Énergie thermique	EER	Consommation électrique	Facteur d'émission	Émissions évitées de CO <sub>2</sub>
m <sup>3</sup>	GWh/an	-	kWh/an	gr CO <sub>2</sub> /kWh	t/an
35 000	2,1	5	420 000	445,5	187

Tableau 2. Conditions de calcul.

### Intervention 3 : cogénération bureaux

Cette section présente les résultats de l'intervention 3 concernant l'installation d'unités de cogénération uniquement pour les bureaux. Pour la zone portuaire de Livourne, tous les bureaux ne peuvent pas être impliqués dans cette intervention de modernisation, car certains sont équipés d'une pompe à chaleur. Dans ce cas, l'utilisation d'une unité de cogénération exigerait une adaptation excessive et injustifiable des installations techniques. Pour cette raison, les bâtiments équipés de thermopompes ne seront pas concernés par cette intervention. Cependant, dans la pratique, connaître exactement le nombre de bâtiments équipés d'un système de chauffage à chaudière reste un objectif difficile à atteindre compte tenu des dimensions de la zone en question. Ce type d'information peut être obtenu en consultant les données des utilisateurs raccordés au réseau de distribution de gaz naturel (dans le cas de Livourne, A.S.A. Spa). En alternative, l'incertitude qui émerge de ce contexte peut être gérée dans cette phase initiale à l'aide d'une analyse de sensibilité fournissant par exemple 3 scénarios possibles : seuls 70% des bureaux sont équipés d'un système de chauffage à chaudière et ensuite adaptés pour accueillir un changement du système de production de l'énergie thermique en amont. D'autres scénarios peuvent être analysés, respectivement 50% et 30%. Dans le cas de la zone portuaire de Livourne, les valeurs estimées sont présentées à la figure 7. En supposant donc l'utilisation d'unités de cogénération (qui pourraient être alimentées par du gaz naturel provenant d'une unité de regazéification locale), les valeurs respectives de dioxyde de carbone évitées sont indiquées à la figure 8<sup>1</sup>.

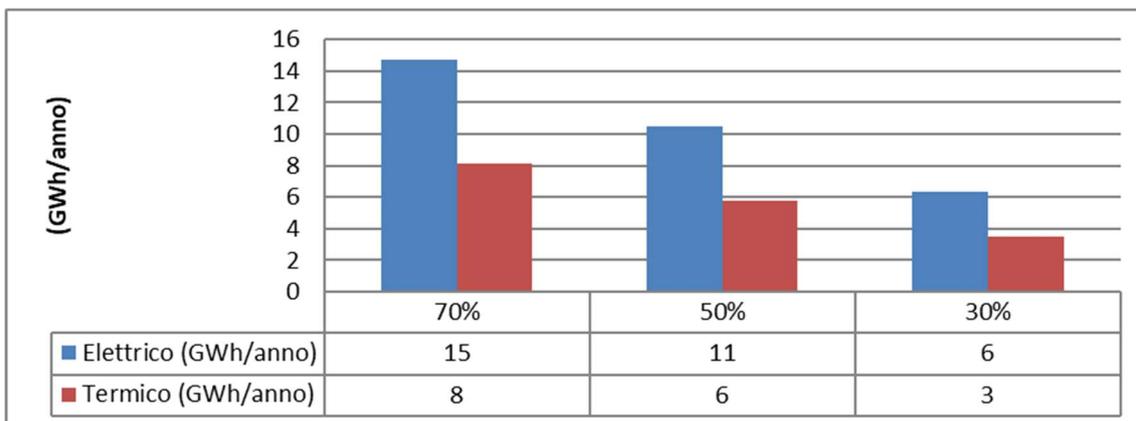


Figure 6. Besoins énergétiques nets actuels pour 70-50-30% des bâtiments, zone portuaire de Livourne.

<sup>1</sup> Hypothèse de calcul : combustion stoechiométrique avec 2,75 kg de CO<sub>2</sub> par kg de gaz naturel brûlé. Pouvoir calorifique inférieur de 12,33 kWh/kg et rendement électrique et thermique de l'unité de cogénération respectivement de 35% et 60%.

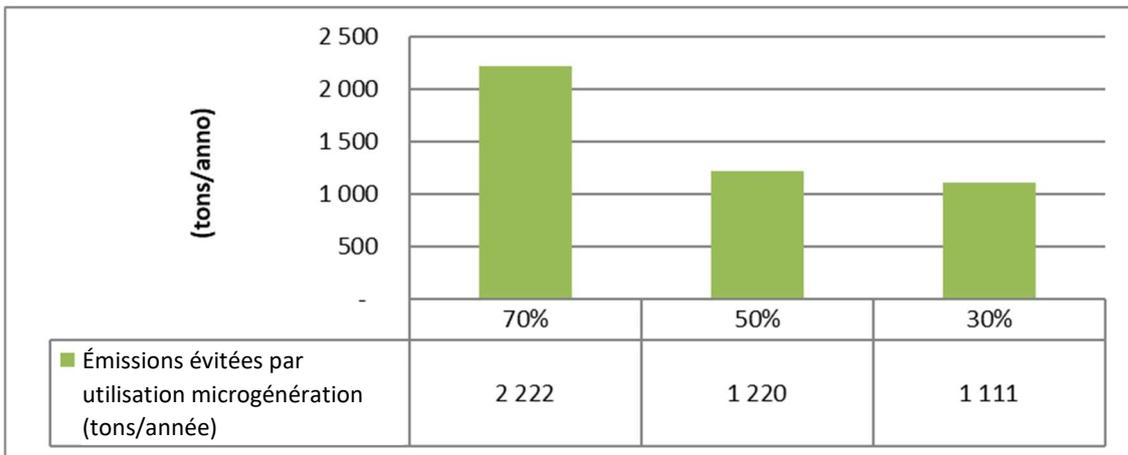


Figure 7. Tonnes de CO2 évitées pour la mise en place d'unités de cogénération pour les différents scénarios.

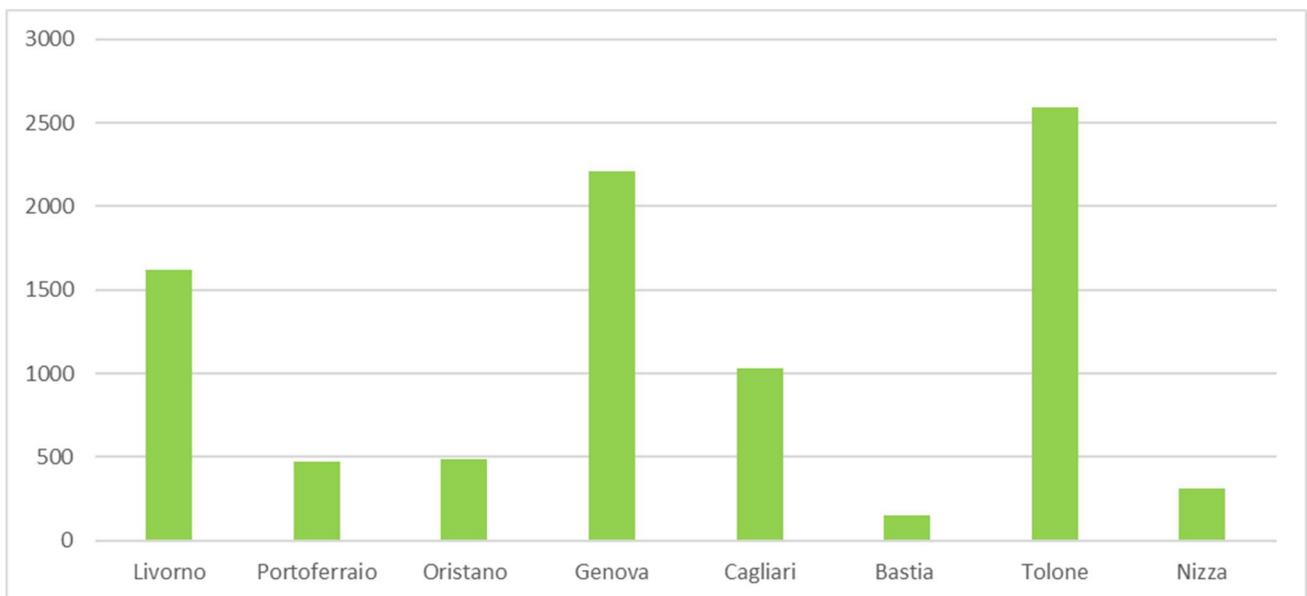


Figure 8. Tonnes de CO2 évitées par la cogénération des bureaux scénario moyen (50% des bâtiments adaptés à la cogénération).

Comme le montre la figure 9, l'utilisation de la cogénération, par rapport à la situation actuelle, pourrait conduire à une réduction considérable des émissions de CO2 pouvant varier de 20 à 33%, en fonction des conditions réelles de l'installation et de son utilisation. Bien entendu, ces valeurs peuvent varier considérablement d'une zone climatique à l'autre. Dans ce cas particulier, le potentiel estimé plus élevé pour le port de Toulon que pour celui de Gênes dérive de la prépondérance de la zone 10 (zones 10-10tris à forte densité de bureaux) sur Gênes.

COD	KPI* (kgCO2/m2_zone)	COD	KPI* (kgCO2/m2_zone)	COD	KPI* (kgCO2/m2_zone)
ZONE 1	0,0108	ZONE 3A	0,0173	ZONE 10	0,8693
ZONE 1A	-	ZONE 4	0,0864	ZONE 11	0,5332
ZONE 1B	-	ZONE 5	0,0828	ZONE 12	2,2240
ZONE 1C	0,0644	ZONE 6	0,0488	ZONE 13	0,0409
ZONE 1D	0,5075	ZONE 6A	0,1984	ZONE 14	0,0779
ZONE 2	0,1114	ZONE 7	0,0845	ZONE 15	0,6795
ZONE 2A	0,0358	ZONE 8	0,0047	ZONE 16	0,6310
ZONE 3	0,0084	ZONE 9	0,0000	ZONE 17	0,3123
				ZONE 18	0,0226

Tableau 3. ICP pour l'évaluation des bénéfices environnementaux (CO2 évité) pour l'intervention concernant la cogénération des bureaux (scénario moyen 50% des bureaux adaptés à la cogénération).

## Intervention 4 : LED autorité portuaire

En termes d'émissions carbone, il convient également d'envisager des mesures de valorisation énergétique complémentaires à celles basées sur l'intégration et l'exploitation du GNL. Parmi celles-ci, la technologie LED offre assurément des opportunités intéressantes en termes d'économie d'énergie et de réduction des émissions carbone. Dans cette section, nous proposons une intervention de modernisation prévoyant le remplacement des lampes (généralement halogénures métalliques) des tours d'éclairage utilisées pour éclairer les aires de manœuvres de la zone appartenant à l'autorité portuaire de Livourne. Dans ce cas, en référence à la base de données développée dans l'étude précédente, la zone ciblée est celle incluse dans la zone 14 (soit une partie de la zone 14). Ici, la consommation totale d'électricité s'élève à environ 1 300 000 kWh/an<sup>2</sup> dont 910 000 kWh/an environ estimés pour l'éclairage. Le tableau 4 montre les économies générées par la mise en œuvre de la technologie LED, tandis que la figure 10 montre les émissions de CO<sub>2</sub> avant et après l'intervention de modernisation. Pour cette intervention, on estime donc une réduction des émissions carbone d'environ 162 tonnes par an.

Consommation totale d'énergie autorité portuaire	1 300 000	kWh/an
Besoins des tours d'éclairage actuelles	910 000	kWh/an
Besoin en éclairage avec technologie LED	546 000	kWh/an
Économies générées	364 000	kWh/an
Facteur d'émission	445,5	gCO <sub>2</sub> /kWh
Émissions avant reconversion	405	t/an
Émissions après reconversion	243	t/an
<b>Émissions évitées</b>	<b>162</b>	<b>t/an</b>

Tableau 4. Évaluation des réductions de la consommation d'électricité pouvant être obtenues par l'installation de LED.

<sup>2</sup> Plan d'aménagement du port de Livourne - *Évaluation de la nécessité prévisible d'augmenter les besoins en électricité dans la nouvelle configuration du port - Analyse des besoins prévisibles à court/moyen terme en électricité - Vérification de l'adéquation des structures existantes - Besoin éventuel de nouvelles infrastructures*. Sintesis Engineering and Consulting (2014)

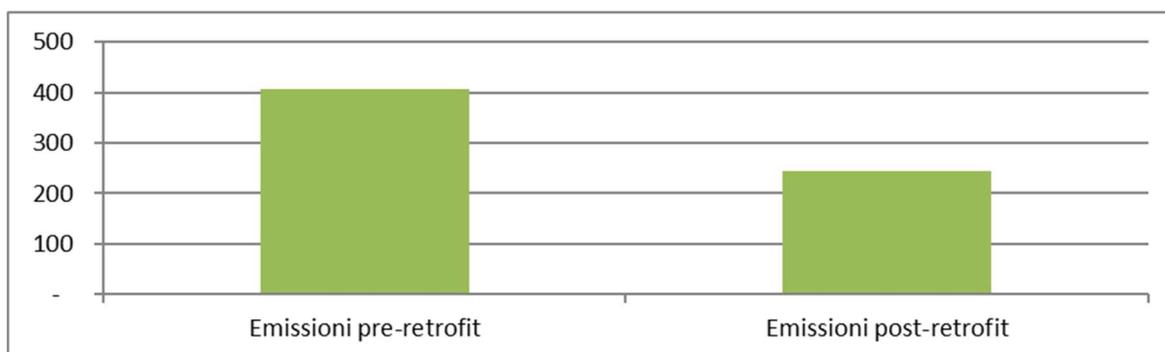


Figure 9. Émissions carbone avant et après reconversion.

### Intervention 5 : Système PV pour conteneurs réfrigérés

En général, la réfrigération des marchandises est la partie prédominante de la consommation d'énergie dans les zones de manutention conteneurs. Pour cette raison, l'intervention numéro 5 consiste en l'installation d'un système photovoltaïque dédié aux conteneurs réfrigérés. Concrètement, dans le cas examiné, nous proposons un système de 4000 kWc alimentant les conteneurs réfrigérés. Cette solution pourrait apporter une réduction significative des émissions carbone par rapport à une situation où les conteneurs sont alimentés par le réseau électrique national. La réduction des émissions carbone qui pourrait être obtenue dans le cas examiné serait comprise entre 2000 et 2500 tonnes de CO<sub>2</sub> par an environ.



Figure 10. Conteneurs réfrigérés. Source : Sogeco.it.

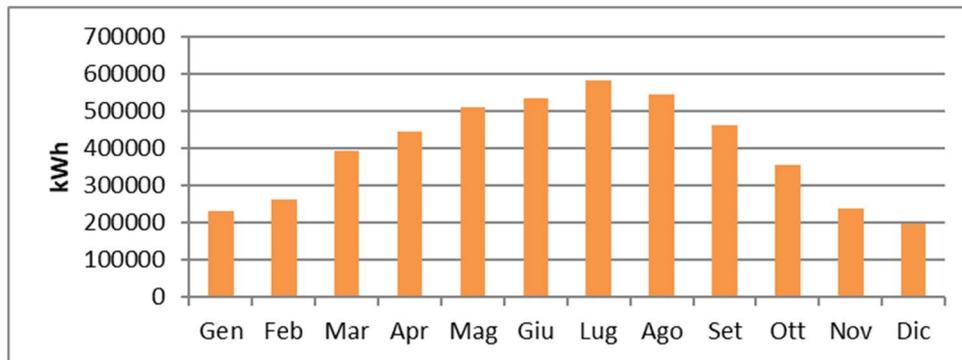


Figure 11. Estimation de la production du système photovoltaïque.

## Intervention 6 : Installation LED pour bureau

Dans cette section, nous évaluerons la possibilité d'installer des LED dans l'ensemble des bureaux de la zone portuaire. Contrairement aux cas précédents, pour l'intervention numéro 6, l'approche méthodologique utilisée permet une extrapolation aisée des bénéfices environnementaux sur l'ensemble du domaine de coopération, grâce à une mise à jour des indicateurs de performance définis dans l'étude précédente. À cet égard, pour une correcte interprétation des résultats, il est important de souligner la possibilité que de nombreux bureaux aient déjà effectué une intervention de reconversion de ce type. Par conséquent, les résultats concernant les bénéfices environnementaux illustrés à la figure 13 pourraient déjà être partiellement atteints. Les valeurs des ICP pour l'ensemble de la zone de coopération sont indiquées ci-dessous (tableaux 5-10), les colonnes relatives aux besoins spécifiques en énergie primaire actualisés en fonction de la nouvelle demande relative en éclairage sont signalées en vert. On estime donc que, globalement, le remplacement des lampes par la technologie LED, sur l'ensemble de la zone de coopération (Livourne, Portoferraio, Ortistano, Gênes, Cagliari, Bastia, Toulon, Nice) permettrait d'éviter l'émission dans l'atmosphère d'environ 6768 tonnes de dioxyde de carbone par an.

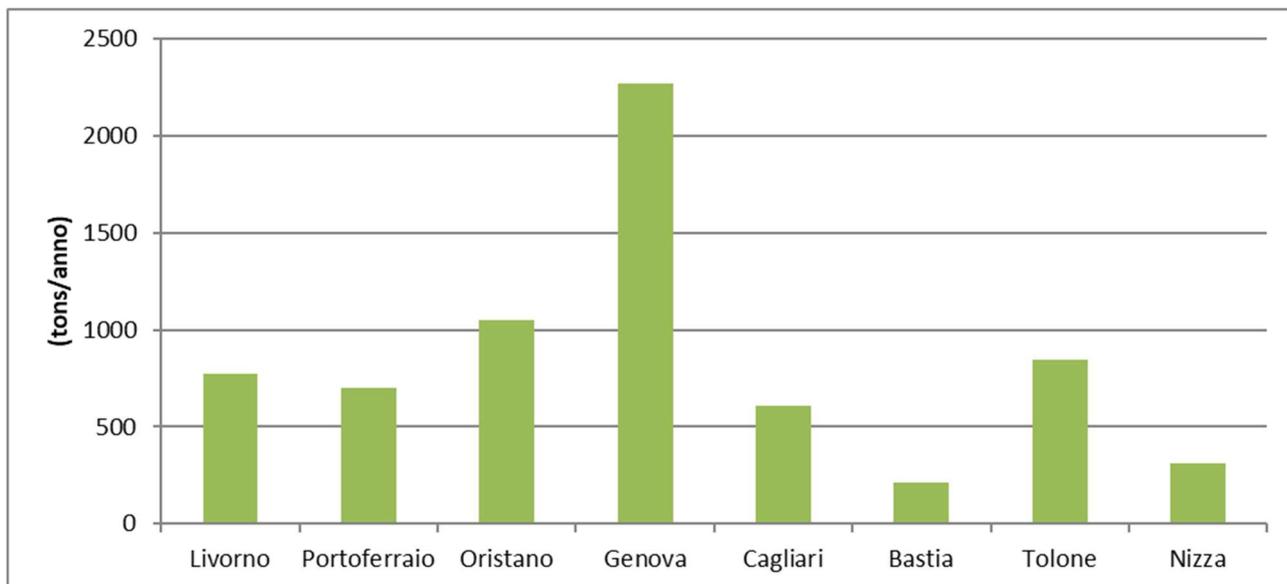


Figure 12. Bénéfices environnementaux de l'intervention 6.

PORTOFERRAIO	Superficie (m2)	Éclair. Public (kWh/an & kWh/m2 an)	Pre-retrofit	Post-retrofit	Rafr. (kWh/an & kWh/m2 par an)	AUX (kWh/an & kWh/m2 par an)	Chauf. (kWh/an & kWh/m2 par an)	ACS (kWh/an & kWh/m2 par an)	Pre-retrofit	Post-retrofit	Pre-retrofit			Post-retrofit		
			Éclair. bâtiments (kWh/an & kWh/m2 par an)	Éclair. bâtiments (kWh/an & kWh/m2 par an)					Besoin total en énergie primaire (kWh/an)	Besoin total en énergie primaire (kWh/an)	mètres cubes/an équivalents GNL @ Conditions Cryogéniques	Besoins Électriques (GWh/an)	Besoins Thermiques (GWh/an)	mètres cubes/an équivalents GNL @ Conditions Cryogéniques	Besoins Électriques (GWh/an)	Besoins Thermiques (GWh/an)
ZONE_10	225 830	192.754	3.493.084	433.401	1.512.733	2.137.903	9.204.090	2.204.372	23.709.682	15.685.252	3794	17	2	2510	13	2
		0,854	15,468	1,919	6,699	9,467	40,757	9,761	104,989	69,456						
ZONE_16	32 037	85.811	114.544	45.606	206.431	181.201	1.034.720	293.516	2.079.026	1.847.285	333	2	0	296	2	0
		2,678	3,575	1,424	6,444	5,656	32,298	9,162	64,895	57,661						
ZONE_16 bis	232 217	621.990	830.262	330.568	1.496.297	1.313.420	7.500.068	2.127.518	15.069.612	13.389.861	2411	12	2	2142	11	2
		2,678	3,575	1,424	6,444	5,656	32,298	9,162	64,895	57,661						
ZONE_17	36 886	21.966	131.881	110.658	279.464	166.263	626.338	193.798	1.850.854	1.398.486	296	1	0	224	1	0
		0,596	15,264	6,299	7,576	4,507	16,980	5,254	50,178	41,213						

Tableau 5. Base de données ICP de la zone portuaire de Porto Ferraio.

ORISTANO	Superficie (m2)	Éclair. Public (kWh/an & kWh/m2 an)	Éclair. bâtiments (kWh/an & kWh/m2 par an)	Éclair. bâtiments (kWh/an & kWh/m2 par an)	Rafr. (kWh/an & kWh/m2 par an)	AUX (kWh/an & kWh/m2 par an)	Chauf. (kWh/an & kWh/m2 par an)	ACS (kWh/an & kWh/m2 par an)	Besoin total en énergie primaire (kWh/an)	Besoin total en énergie primaire (kWh/an)	mètres cubes/an équivalents GNL @ Conditions Cryogéniques	Besoins Électriques (GWh/an)	Besoins Thermiques (GWh/an)	mètres cubes/an équivalents GNL @ Conditions Cryogéniques	Besoins Électriques (GWh/an)	Besoins Thermiques (GWh/an)
ZONE_10tris	75 309	64.279	1.164.861	144.529	504.461	712.940	3.069.348	735.106	7.906.622	5.230.663	1265	5,5	1	837	4,5	0
		0,854	15,468	1,919	6,699	9,467	40,757	9,761	104,989	69,5						
ZONE_10bis	57 083	48.722	882.946	109.551	382.373	540.397	2.326.516	557.199	5.993.091	3.964.758	959	4,2	1	634	3,4	0
		0,854	15,468	1,919	6,699	9,467	40,757	9,761	104,989	69,5						
ZONE_6A	186 812	17.263	178.725	523	82.357	184.177	352.432	92.238	2.043.209	728.990	327	0,8	0	117	0,6	0
		0,092	0,957	0,003	0,441	0,986	1,887	0,494	10,937	3,9						
ZONE_10	146 355	124.919	2.263.784	280.877	980.366	1.385.523	5.964.950	1.428.601	15.365.675	10.165.235	2459	10,7	1	1626	8,7	0
		0,854	15,468	1,919	6,699	9,467	40,757	9,761	104,989	69,5						
ZONE_10quin c	25 294	21.589	391.241	48.543	169.433	239.455	1.030.900	246.900	2.655.594	1.756.821	425	1,9	0	281	1,5	0
		0,854	15,468	1,919	6,699	9,467	40,757	9,761	104,989	69,5						
ZONA_4	119 382	178169	202925	45.561	118454	128723	544145	133286	1594121	1.148.339	255	1,2	0	184	1,0	0
		1,492	1,700	0,382	0,992	1,078	4,558	1,116	13,353	9,6						
ZONA_4bis	216 499	323109	368004	82.626	214816	233439	986806	241715	2890936	2.082.510	463	2,1	0	333	1,8	0
		1,492	1,700	0,382	0,992	1,078	4,558	1,116	13,353	9,6						
ZONA_4tris	51 217	76438	87058	19.547	50819	55224	233448	57182	683906	492.658	109	0,5	0	79	0,4	0
		1,492	1,700	0,382	0,992	1,078	4,558	1,116	13,353	9,6						

ZONA_10 quatr is	59 588	50860	792212	114.358	399153	564112	2428611	581651	6256089	4.138.745	1001	4,2	1	662	3,6	0
		0,854	15,468	1,919	6,699	9,467	40,757	9,761	104,989	69,5						

Tableau 6. Base de données ICP zone portuaire d'Oristano.

GÈNES	Superficie (m2)	Éclair. Public (kWh/an & kWh/m2 an)	Éclair. bâtiments (kWh/an & kWh/m2 par an)	Éclair. bâtiments (kWh/an & kWh/m2 par an)	Rafr. (kWh/an & kWh/m2 par an)	AUX (kWh/an & kWh/m2 par an)	Chauf. (kWh/an & kWh/m2 par an)	ACS (kWh/an & kWh/m2 par an)	Besoin total en énergie primaire (kWh/an)	Besoin total en énergie primaire (kWh/an)	mètres cubes/an équivalents GNL @ Conditions Cryogéniques	Besoins Électrique (GWh/an)	Besoins Thermique (GWh/an)	mètres cubes/an équivalents GNL @ Conditions Cryogéniques	Besoins Électrique (GWh/an)	Besoins Thermique (GWh/an)
ZONE_17	268 164	159.694	4.093.242	2.404.055	2.031.724	1.208.741	4.553.521	1.408.926	13.455.847	11.766.661	2.153	12	1	1.883	10	1
		0,596	15,264	8,96	7,576	4,507	16,980	5,254	50,178	43,879						
ZONA_14	230 948	107.947	443.185	265.808	507.612	295.754	1.062.532	314.307	3.361.239	2.553.959	538	2	0	409	2	0
		0,467	1,919	1,151	2,198	1,281	4,601	1,361	14,554	11,059						
ZONA_11	74 766	106.412	713.641	177.073	424.554	469.616	2.078.465	465.191	5.272.183	3.721.310	844	4	0	595	3	0
		1,423	9,545	2,368	5,678	6,281	27,800	6,222	70,516	49,773						

ZONE _16	187 227	501.485	669.406	266.523	1.206.403	1.058.957	6.046.996	1.715.330	12.150.007	10.795.693	1.944	9	2	1.727	9	2
		2,678	3,575	1,424	6,444	5,656	32,298	9,162	64,895	57,661						
ZONA _15	408 707	2.165.936	1.461.279	-	7.860.865	4.575.834	16.412.794	4.855.931	52.500.112	35.871.360	8.400	32	5	5.739	31	5
		5,299	3,575	0,000	19,233	11,196	40,158	11,881	128,454	87,768						
ZONA _1	253 951	1.178.132	72.599	52.738	72.359	41.907	148.860	46.943	1.639.113	1.540.939	262	2	0	247	1	0
		4,639	0,349	0,208	0,285	0,165	0,586	0,185	6,454	6,068						
ZONA _1bis	281 888	1.505.879	96.652	58.540	80.319	56.533	265.388	52.107	2.127.740	2.018.766	340	2	0	323	2	0
		5,342	0,644	0,208	0,285	0,201	0,941	0,185	7,548	7,162						
ZONA _1A	555 297	142.078	357.803	-	-	-	-	-	142.078	142.078	23	0	-	23	0	-
		0,256	0,644	-	0,000		0,000	0,000	0,256	0,256						
ZONA _1D	1 346 778	3.540.422	68.301	3.452.205	4.082.175	9.732.444	55.643.328	7.775.087	110.597.309	84.225.662	17.696	73	8	13.476	76	8
		2,629	0,644	2,56	3,031	7,226	41,316	5,773	82,120	62,539						
ZONA _17bis	445 987	265.588	6.807.523	3.998.216	3.378.986	2.010.273	7.573.020	2.343.203	22.378.593	19.569.285	3.581	20	2	3.131	17	2
		0,596	15,264	8,96	7,576	4,507	16,980	5,254	50,178	43,879						
ZONE _16bis	16 301	43.662	58.282	23.205	105.036	92.199	526.484	149.346	1.057.846	939.932	169	1	0	150	1	0
		2,678	3,575	1,424	6,444	5,656	32,298	9,162	64,895	57,661						
ZONA _1tris	22 620	120.839	349.881	4.698	6.445	4.536	21.296	4.181	170.740	161.995	27	1	0	26	0	0
		5,342	15,468	0,208	0,285	0,201	0,941	0,185	7,548	7,162						
ZONE _10	231 721	197.782	3.584.205	444.707	1.552.194	2.193.672	9.444.188	2.261.876	24.328.172	16.094.418	3.893	17	2	2.575	14	2
		0,854	15,468	1,919	6,699	9,467	40,757	9,761	104,989	69,456						
ZONA _7	149 357	719.230	175.753	5.183	67.157	165.808	1.019.961	145.414	2.543.124	2.122.754	407	2	0	340	2	0
		4,816	1,177	0,035	0,450	1,110	6,829	0,974	17,027	14,213						
ZONA _16tris	57 452	153.884	205.412	81.785	370.194	324.949	1.855.566	526.362	3.728.320	3.312.739	597	3	1	530	3	1
		2,678	3,575	1,424	6,444	5,656	32,298	9,162	64,895	57,661						
ZONA _1quat ris	981 568	5.243.653	342.603	203.843	279.680	196.854	924.114	181.443	7.409.047	7.029.587	1.185	7	0	1.125	7	0
		5,342	0,349	0,208	0,285	0,201	0,941	0,185	7,548	7,162						

ZONA _2	17 775	9.876	38.309	8.806	22.949	30.924	167.791	25.742	350.040	266.088	56	0	0	43	0	0
		0,556	2,155	0,495	1,291	1,73975	9,440	1,448	19,693	14,970						
ZONA _8	29 868	69.171	69.816	2.059	980	1.071	7.000	1.967	80.955	82.249	13	0	0	13	0	0
		2,316	2,337	0,069	0,033	0,036	0,234	0,066	2,710	2,754						
ZONA _17tris	25 840	15.388	394.420	231.652	195.775	116.473	438.772	135.763	1.296.591	1.133.823	207	1	0	181	1	0
		0,596	15,264	8,96	7,576	4,507	16,980	5,254	50,178	43,879						
ZONA _17qu atris	194 012	115.536	92.962	1.739.292	1.469.917	874.503	3.294.393	1.019.333	9.735.072	8.512.975	1.558	6	1	1.362	7	1
		0,596	1,177	8,96	7,576	4,507	16,980	5,254	50,178	43,879						
ZONA _1Dbis	78 875	207.347	5.369.020	202.181	239.075	569.987	3.258.791	455.353	6.477.209	4.932.735	1.036	10	0	789	4	0
		2,629	3,980	2,56	3,031	7,226	41,316	5,773	82,120	62,539						

Tableau 7. Base de données ICP zone portuaire de Gênes.

CAGLIARI	Superficie (m2)	Éclair. Public (kWh/an & kWh/m2 an)	Éclair. bâtiments (kWh/an & kWh/m2 par an)	Éclair. bâtiments (kWh/an & kWh/m2 par an)	Rafr. (kWh/an & kWh/m2 par an)	AUX (kWh/an & kWh/m2 par an)	Chauf. (kWh/an & kWh/m2 par an)	ACS (kWh/an & kWh/m2 par an)	Besoin total en énergie primaire (kWh/an)	Besoin total en énergie primaire (kWh/an)	mètres cubes/an équivalents GNL @ Conditions Cryogéniques	Besoins Électrique (GWh/an)	Besoins Thermique (GWh/an)	mètres cubes/an équivalents GNL @ Conditions Cryogéniques	Besoins Électrique (GWh/an)	Besoins Thermique (GWh/an)
		4,639	0,594	0,241	0,285	0,165	0,586	0,185	6,454	6,101	508	3,1	0	480	2,9	0
ZONE_1	491426	2 279 828	292 033	118 278	140 023	81 096	288 063	90 840	3 171 883	2 998 128	508	3,1	0	480	2,9	0
		134 878	1 266 835	975 631	313 430	335 863	1 426 794	351 570	3 829 371	3 538 167						
ZONE_2	242761	134 878	1 266 835	975 631	313 430	335 863	1 426 794	351 570	3 829 371	3 538 167	613	3	0	566	3,2	0
		0,556	5,218	4,019	1,291	1,38351	5,877	1,448	15,774	14,575						
ZONE_1 2	140494	146 674	1 816 540	1 207 475	607 138	550 684	2 465 514	617 644	6 204 195	5 595 129	993	6	1	895	5,0	1
		1,044	12,930	8,594	4,321	3,920	17,549	4,396	44,160	39,825						
ZONE_8	20727	48 002	531	531	680	743	4 857	1 365	56 179	56 179	9	0	0	9	0,1	0
		2,316	0,026	0,026	0,033	0,036	0,234	0,066	2,710	2,710						
ZONE_1 0mod*	31897	27 225	1 194 613	1 046 392	213 664	380 760	2 087 972	311 353	4 215 587	4 067 366	674	4	0	651	3,8	0
		0,854	37,452	32,805	6,699	11,937	65,460	9,761	132,162	127,516						
ZONE_1 6	94772	253 845	820 448	493 787	610 666	536 031	3 060 915	868 279	6 150 184	5 823 523	984	5	1	932	5,0	1
		2,678	8,657	5,210	6,444	5,656	32,298	9,162	64,895	61,448						
ZONE_2 bis	36368	20 206	189 784	146 159	46 955	63 271	343 303	52 669	716 188	672 563	115	1	0	108	0,6	0
		0,556	5,218	4,019	1,291	1,73975	9,440	1,448	19,693	18,493						

ZONE_4	13889	20 728	57 163	44 329	13 781	14 976	63 306	15 507	185 461	172 627	30	0	0	28	0,2	0
		1,492	4,116	3,192	0,992	1,078	4,558	1,116	13,353	12,429						
ZONE_1 6bis	111790	299 428	967 774	582 455	720 322	632 285	3 610 557	1 024 194	7 254 559	6 869 241	1161	6	1	1099	5,8	1
		2,678	8,657	5,210	6,444	5,656	32,298	9,162	64,895	61,448						
ZONE_1 4	307414	143 687	1 428 381	571 683	675 680	393 677	1 414 332	418 373	4 474 133	3 617 433	716	4	0	579	3,2	0
		0,467	4,646	1,860	2,198	1,281	4,601	1,361	14,554	11,767						
ZONE_1 7	165634	98 636	2 528 229	1 043 342	1 254 913	746 590	2 812 525	870 236	8 311 130	6 826 242	1330	7	1	1092	6,0	1
		0,596	15,264	6,299	7,576	4,507	16,980	5,254	50,178	41,213						
ZONE_1 1	383540	545 880	8 864 137	6 664 719	2 177 909	2 409 067	10 662 257	2 386 372	27 045 621	24 846 203	4327	25	2	3975	22,5	2
		1,423	23,111	17,377	5,678	6,281	27,800	6,222	70,516	64,781						
ZONE_1 6 tris	41786	111 923	361 744	217 716	269 249	236 342	1 349 590	382 834	2 711 683	2 567 654	434	2	0	411	2,2	0
		2,678	3,575	1,424	6,444	5,656	32,298	9,162	64,895	57,661						

Tableau 8. Base de données ICP zone portuaire de Cagliari.

BASTIA		Superficie (m2)	Éclair. Public (kWh/an & kWh/m2 an)	Éclair. bâtiments (kWh/an & kWh/m2 par an)	Éclair. bâtiments & kWh/m2 par an	Rafr. (kWh/an & kWh/m2 par an)	AUX (kWh/an & kWh/m2 par an)	Chauf. (kWh/an & kWh/m2 par an)	ACS (kWh/an & kWh/m2 par an)	Besoin total en énergie primaire (kWh/an)	Besoin total en énergie primaire (kWh/an)	mètres cubes/an équivalents GNL @ Conditions Cryogéniques	Besoins Électrique (GWh/an)	Besoins Thermique (GWh/an)	mètres cubes/an équivalents GNL @ Conditions Cryogéniques	Besoins Électrique (GWh/an)	Besoins Thermique (GWh/an)
ZONE_17	97 647	58.149	1.490.479	875.393	739.815	440.141	1.658.081	513.035	4.899.700	4.284.614	784	4	1	686	4	1	
		<b>0,596</b>	<b>15,264</b>	<b>8,96</b>	<b>7,576</b>	<b>4,507</b>	<b>16,980</b>	<b>5,254</b>	<b>50,178</b>	<b>43,88</b>							
ZONE_16	34 604	92.686	123.722	49.260	222.972	195.720	1.117.629	317.034	2.245.610	1.995.301	359	2	0	319	2	0	
		<b>2,678</b>	<b>3,575</b>	<b>1,424</b>	<b>6,444</b>	<b>5,656</b>	<b>32,298</b>	<b>9,162</b>	<b>64,895</b>	<b>57,66</b>							
ZONE_16bis	13 046	34.944	46.644	18.571	84.062	73.788	421.355	119.524	846.614	752.245	135	1	0	120	1	0	
		<b>2,678</b>	<b>3,575</b>	<b>1,424</b>	<b>6,444</b>	<b>5,656</b>	<b>32,298</b>	<b>9,162</b>	<b>64,895</b>	<b>57,66</b>							
ZONE_10	70 130	59.858	1.084.754	134.590	469.769	663.911	2.858.269	684.553	7.362.884	4.870.950	1178	5	1	779	4	1	
		<b>0,854</b>	<b>37,452</b>	<b>32,81</b>	<b>6,699</b>	<b>9,467</b>	<b>40,757</b>	<b>9,761</b>	<b>104,989</b>	<b>100,34</b>							

Tableau 9. Base de données ICP zone portuaire de Bastia.

NICE	Superficie (m2)	Éclair. Public (kWh/an & kWh/m2 an)	Éclair. bâtiments (kWh/an & kWh/m2 par an)	Éclair. bâtiments (kWh/an & kWh/m2 par an)	Rafr. (kWh/an & kWh/m2 par an)	AUX (kWh/an & kWh/m2 par an)	Chauf. (kWh/an & kWh/m2 par an)	ACS (kWh/an & kWh/m2 par an)	Besoin total en énergie primaire (kWh/an)	Besoin total en énergie primaire (kWh/an)	mètres cubes/an équivalents GNL @ Conditions Cryogéniques	Besoins Électrique (GWh/an)	Besoins Thermique (GWh/an)	mètres cubes/an équivalents GNL @ Conditions Cryogéniques	Besoins Électrique (GWh/an)	Besoins Thermique (GWh/an)
ZONE _17	92 460	55.061	1.411.305	828.892	700.516	416.761	1.570.004	485.782	4.639.428	4.057.015	742	4	0	649	4	0
		<b>0,596</b>	<b>15,264</b>	<b>8,96</b>	<b>7,576</b>	<b>4,507</b>	<b>16,980</b>	<b>5,254</b>	<b>50,178</b>	<b>43,88</b>						
ZONA _18	8 062	7.256	9.001	5.400	10.302	7.301	34.548	6.364	87.563	71.171	14	0	0	11	0	0
		<b>0,900</b>	<b>1,116</b>	<b>0,67</b>	<b>1,278</b>	<b>0,906</b>	<b>4,285</b>	<b>0,789</b>	<b>10,861</b>	<b>8,83</b>						
ZONE _10bis	466 737	398.376	1.392.763	895.737	3.126.460	4.418.537	19.022.668	4.555.914	49.002.284	32.417.693	7840	28	5	5187	28	5
		<b>0,854</b>	<b>2,984</b>	<b>1,92</b>	<b>6,699</b>	<b>9,467</b>	<b>40,757</b>	<b>9,761</b>	<b>104,989</b>	<b>69,46</b>						
ZONE _10	88 764	75.763	1.372.980	170.351	594.590	840.317	3.617.729	866.443	9.319.250	6.165.194	1491	7	1	986	5	1
		<b>0,854</b>	<b>15,468</b>	<b>1,92</b>	<b>6,699</b>	<b>9,467</b>	<b>40,757</b>	<b>9,761</b>	<b>104,989</b>	<b>69,46</b>						
ZONE _10tris	152 935	130.535	456.365	293.505	1.024.442	1.447.815	6.233.129	1.492.829	16.056.503	10.622.256	2569	9	1	1700	9	1
		<b>0,854</b>	<b>2,984</b>	<b>1,92</b>	<b>6,699</b>	<b>9,467</b>	<b>40,757</b>	<b>9,761</b>	<b>104,989</b>	<b>69,46</b>						

Tableau 10. Base de données ICP zone portuaire de Nice.

TOULON	Superficie (m2)	Éclair. Public (kWh/an & kWh/m2 an)	Éclair. bâtiments (kWh/an & kWh/m2 par an)	Éclair. bâtiments (kWh/an & kWh/m2 par an)	Rafr. (kWh/an & kWh/m2 par an)	AUX (kWh/an & kWh/m2 par an)	Chauf. (kWh/an & kWh/m2 par an)	ACS (kWh/an & kWh/m2 par an)	Besoin total en énergie primaire (kWh/an)	Besoin total en énergie primaire (kWh/an)	mètres cubes/an équivalents GNL @ Conditions Cryogéniques	Besoins Électriques (GWh/an)	Besoins Thermiques (GWh/an)	mètres cubes/an équivalents GNL @ Conditions Cryogéniques	Besoins Électriques (GWh/an)	Besoins Thermiques (GWh/an)
ZONE_10tris	1 503 740	1.283.493	993.034	2.885.900	10.072.875	14.235.707	61.287.508	14.678.310	157.876.265	104.443.792	25260	88	15	16711	90	15
		0,854	0,660	1,92	6,699	9,467	40,757	9,761	104,989	69,46						
ZONE_10bis	165 839	141.549	2.565.158	318.270	1.110.881	1.569.976	6.759.053	1.618.788	17.411.282	11.518.516	2786	12	2	1843	10	2
		0,854	15,468	1,92	6,699	9,467	40,757	9,761	104,989	69,46						
ZONA_14	154 607	72.264	296.688	177.944	339.818	197.991	711.307	210.411	2.250.165	1.709.735	360	2	0	274	1	0
		0,467	1,919	1,15	2,198	1,28061	4,601	1,361	14,554	11,06						
ZONE_10	162 366	138.585	2.511.438	311.604	1.087.616	1.537.097	6.617.505	1.584.887	17.046.655	11.277.296	2727	12	2	1804	10	2
		0,854	15,468	1,92	6,699	9,467	40,757	9,761	104,989	69,46						
ZONE_16	117 956	315.943	421.736	167.914	760.053	667.160	3.809.704	1.080.685	7.654.699	6.801.459	1225	6	1	1088	6	1
		2,678	3,575	1,424	6,444	5,656	32,298	9,162	64,895	57,66						
ZONA_13	77 048	52551	50881	28902	63537	51893	281268	50925	623371	529.075	100	1	0	85	0	0
		0,682	0,660	0,375	0,825	0,674	3,651	0,661	8,091	6,87						
ZONA_11	211 097	300447	2014920	499953	1198702	1325929	5868411	1313438	14885669	10.506.880	2382	11	1	1681	9	1
		1,423	9,545	2,368	5,678	6,281	27,800	6,222	70,516	49,77						
ZONA_18	255 232	229701	284946	170968	326154	231131	1093732	201477	2772137	2.253.163	444	2	0	361	2	0
		0,900	1,116	0,670	1,278	0,906	4,285	0,789	10,861	8,83						

ZONE _17	229 783	136.837	3.507.396	2.059.975	1.740.933	1.035.740	3.901.798	1.207.273	11.529.978	10.082.556	1845	10	1	1613	9	1
		0,596	15,264	8,96	7,576	4,507	16,980	5,254	50,178	43,88						
ZONE _16bis	284 620	762350	1017622	405165	1833957	1609812	9192563	2607622	18470280	16.411.470	2955	14	3	2626	14	3
		2,678	3,575	1,424	6,444	5,656	32,298	9,162	64,895	57,66						

Tableau 11. Base de données ICP zone portuaire de Toulon.

## Analyse multiscénarios

Cette section présente un aperçu sommaire des scénarios proposés.

Intervention	Tag	CO2 total évité (tonnes/an)		ICP et unités de mesure		Main driver	Avertissement	Total (tonnes/an)
1	Conversion au dual-fuel du parc véhicules zone de manutention conteneurs.	587		NA	(kgCO2/mov)	Forte dépendance à l'égard du trafic de fret	Valeur se référant à une seule zone. La contribution de la chaudière doit être exclue de la définition de l'ICP.	587
2	Dépôt réfrigéré	187		5,3	(kgCO2/m3)	Forte dépendance à l'égard de la zone climatique et du type de marchandise	La valeur se réfère à un seul dépôt. La valeur de l'ICP se rapporte aux dépôts de fruits.	187
3	Cogénération bureaux	Livourne	1920	ICP par zones tableau (3)	(kgCO2/m2_zone)	Zone climatique	Les valeurs sont calculées pour un scénario moyen (50% des bâtiments adaptés pour accueillir la cogénération)	9181
		Portoferraio	474					
		Oristano	489					
		Gênes	2211					
		Cagliari	1030					
		Bastia	154					
		Toulon	2595					
Nice	309							
4	Système photovoltaïque pour conteneurs réfrigérés	2122		0,445-0,292	(kgCO2/kWh)	Forte dépendance à la latitude et aux facteurs typiques qui caractérisent la production solaire et le commerce de marchandises	Les valeurs d'émission de CO2 sont équivalentes à celles du parc thermoélectrique national.	2122

5	LED autorité portuaire	162		-	(kgCO2/m2_zone)	Solution spécifique en fonction des caractéristiques de la zone	Valeur se référant à une seule zone. Solution de modernisation non extrapolable à la zone ciblée	162
6	LED bureaux	Livourne	775	ICP par zones, tableaux (5-10)	(kgCO2/m2_zone)	Forte dépendance à l'égard des facteurs d'émission nationaux (ex. Livourne vs Toulon)	Certains bâtiments pourraient déjà utiliser la technologie LED	6768
		Portoferraio	699					
		Oriстано	1051					
		Gênes	2268					
		Cagliari	607					
		Bastia	212,13					
		Toulon	844,22					
		Nice	311,44					

Tableau 12. Aperçu des scénarios et des bénéfices environnementaux.

## Discussions et conclusions

Le tableau qui ressort de cette analyse suggère l'existence d'opportunités intéressantes pour réduire les émissions carbone associées aux activités portuaires onshore. Concrètement, afin de réduire l'empreinte environnementale, l'intégration du GNL comme vecteur énergétique alternatif au gasoil devient une option non négligeable, notamment dans les terminaux dédiés à la manutention conteneurs. Il est clair que le remplacement du gasoil comme carburant pour machines et véhicules est assurément l'une des solutions les plus intéressantes tant du point de vue environnemental que pour la facilité et la relative simplicité d'installation de la technologie. De même, l'état cryogénique du GNL peut être capitalisé à travers l'intégration du processus de regazéification du gaz lui-même avec les installations techniques et/ou mécaniques des procédés industriels qui nécessitent des quantités importantes d'énergie à des températures relativement basses. Cette étude montre comment un procédé de regazéification à petite échelle peut répondre efficacement à la demande thermique d'installations à forte consommation énergétique, comme les dépôts réfrigérés de stockage de fruits. Il convient de noter qu'une intervention de ce type pourrait apporter des bénéfices environnementaux importants, même si elle est relativement limitée par rapport à d'autres interventions (187 tonnes de CO<sub>2</sub> par an) et ne pourrait donc devenir économiquement viable que sous certaines conditions. Concrètement, l'intégration thermique des procédés nécessiterait une optimisation de la configuration des installations, c'est-à-dire une minimisation des conduites utilisées pour le transport du fluide caloporteur. Il pourrait s'agir par exemple d'implanter les unités de regazéification des stations de ravitaillement de gaz naturel comprimé (GNC) à proximité d'utilisateurs affichant une forte demande d'énergie thermique à basse température. En poursuivant la discussion, il convient de souligner que l'utilisation de la cogénération pour les seuls bureaux représente une autre solution importante technique en termes de réduction des émissions carbone. Notons qu'une telle intervention pourrait générer un bénéfice qui, s'il était étendu à l'ensemble de la zone de coopération, atteindrait un ordre de grandeur de 8000/9000 tonnes par an d'émissions carbone non émises dans l'atmosphère. Ces mesures visant à intégrer le GNL en zone portuaire ne sont bien entendu pas les seules options possibles. Concrètement, il convient de souligner que le remplacement des éléments d'éclairage des aires de manœuvre et dans les bureaux est de fait une intervention qui permettrait d'obtenir un maximum de bénéfices environnementaux, notamment pour les ports italiens où le kWh électrique est associé à des facteurs d'émission notoirement plus élevés qu'en France, où la présence du nucléaire permet d'atteindre des valeurs spécifiques (en grammes CO<sub>2</sub>/kWh) plus contenues. En outre, il ne faut pas manquer de noter que les terminaux de manutention conteneurs se caractérisent normalement par une forte demande d'énergie, dont la plus grande part est généralement associée à la consommation d'électricité générée par les conteneurs réfrigérés. Pour cette raison, l'achat de certificats blancs est la solution la plus immédiate pour les concessionnaires de ces zones. Cependant, soulignons que l'utilisation du photovoltaïque est d'autant plus souhaitable que les bénéfices possibles

pourraient facilement se situer entre 2000 et 2500 tonnes d'émissions carbone en moins. Enfin, la possibilité d'utiliser la technologie LED pour l'éclairage des bâtiments est de fait la plus intéressante (6768 tonnes de CO2 évitées sur l'ensemble de la zone de coopération).

En conclusion, parallèlement aux options et scénarios de modernisation proposés dans le présent document, il convient de souligner que les quais électrifiés et le transport maritime fonctionnant au GNL seraient également des solutions plus attrayantes en termes de bénéfices environnementaux.

## Bibliographie et sitographie

[1] Ports Alto Tirreno. Les ports comme charnière mer-terre des nouveaux réseaux de distribution de GNL : le cas de Livourne et du Cluster Alto Tirreno. Disponible en ligne : <https://www.portaltotirreno.it/wp-content/uploads/2018/03/DOC-INN-Presentazione-Verona-LNG-41215-AQ-finale.pdf>. (consulté 26/07/2019).

[2] Green Cranes. Disponible en ligne : <http://www.greencranes.eu/> (consulté 26/07/2019).

[3] J.-M. Huet, Lars Reinholdt, Claudio Zilio, C. Bond. "Specific energy consumption values for various refrigerated food cold stores." ICR 2015, August 16 - 22 - Yokohama, Japan.

[4] European Environmental Agency. Disponible en ligne : <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/overview-of-the-electricity-production-2/assessment-4> (consulté 24/07/2019)

Projet Signal – Programme Italie France Maritime 2014-2020

# Rapport Produit T1.5.1

## Sommario

1. PREMISSE ET INTRODUCTION.....	8
2. LA DEMAND DE GNL ET LE DEVELOPPEMENT POTENTIEL.....	10
2.1 L'ÉVOLUTION DE LA FLOTTE MARITIME .....	15
2.1.1 LES CROISIERES.....	24
2.2 LA DEMANDE DE GNL TERRESTRE.....	36
2.2.1 LA DOMANDE DE GNL POUR LES CAMIONS .....	36
2.2.2 LA DEMANDE DU GNL POUR LE TPL.....	41
3. ANALYSE DE L'OFFRE DANS LE CONTEXTE TERRITORIAL DE RÉFÉRENCE .....	42
3.1.1 TERMINAUX D'IMPORTATION AVEC DES SERVICES À PETITE ÉCHELLE ACTIFS EN MÉDITERRANÉE OCCIDENTALE.....	43
3.1.2 3.1.2 LES TERMINAUX DE REGASIFICATION DANS LE BASSIN TIRRENO- LIGURIEN.....	47
3.1.3 PLANTES À PETITE ÉCHELLE EN CONSTRUCTION ET AUTORISATION EN ITALIE	51
4. BUNKERING ET TRANSPORT DE GNL: SOLUTIONS TECHNOLOGIQUES DISPONIBLES ET EXEMPLES D'APPLICATION.....	60
4.1 BUNKERING DU GNL: CLIN D'OEUIL .....	61
4.2 SOLUTIONS SHIP-TO-SHIP ET EXEMPLES D'APPLICATION .....	64
4.2.1 SOLUTIONS ET UNITÉS POUR LE TRANSPORT ET LE BUNKERING DE GNL 64	
4.2.2 EXEMPLES D'APPLICATION SHIP-TO-SHIP ET PERSPECTIVES FUTURES 74	
4.3 SOLUTIONS POUR TERMINAL (PORT) -BORDER ET EXEMPLES D'APPLICATION .....	79
4.3.1 SOLUTIONS POUR LE TRANSFERT DE GNL AU QUAI.....	79
4.3.2 EXEMPLES D'APPLICATIONS RÉCENTES DE BUNKERING TPS .....	81

4.4	SOLUTIONS DE CAMION À BATEAU ET EXEMPLES D'APPLICATION .....	85
4.4.1	SOLUTIONS POUR LE TRANSPORT DE GNL PAR ROUTE .....	85
4.4.2	CONNEXIONS MULTIPLES SIMULTANÉES POUR LE BUNKERING TTS ...	89
4.4.3	EXEMPLES D'APPLICATION RÉCENTS DU BUNKERING DE CAMION À BATEAU .....	93
	EXPÉRIENCE DES PAYS-BAS.....	93
4.5	LE DEVELOPPEMENT DE LA CHAÎNE DU GNL.....	105
4.5.1	APPLICATIONS POSSIBLES DANS LE CONTEXTE LIGURIEN.....	109
5.	ANALYSE DES SOLUTIONS POSSIBLES QUI PEUVENT ÊTRE ADOPTÉES DANS LE CONTEXTE LIGURIEN .....	113
5.1	ANALYSE DES MACRO-SCENARIOS.....	113
5.1.1	PHASE DE START-UP DU RESEAU .....	113
5.1.2	PHASES DE DÉVELOPPEMENT DE RÉSEAU INTERMÉDIAIRE (MISE À L'ÉCHELLE) ET FINALE (ROLL-OUT) .....	117
5.1.3	CADRE DE LA DEMANDE MARITIME POTENTIELLE DE GNL ET D'INFRASTRUCTURES TERRESTRES CONNEXES.....	121
5.2	ANALYSE SWOT DES SOLUTIONS TECHNOLOGIQUES ADOPTABLES .....	126
5.3	ANALYSE QUALITATIVE DE LA FAISABILITÉ DES DIFFÉRENTES OPTIONS QUI PEUVENT ÊTRE ADOPTÉES DANS LE CONTEXTE LIGURIEN.....	136
6.	CONSIDÉRATIONS FINALES.....	139
6.1	SCÉNARIO RELATIF À LA PHASE DE DÉMARRAGE DE L'APPLICATION .....	139
6.2	SCÉNARIO DE LA PHASE DE TRANSITION DE CONSOLIDATION DE LA DEMANDE À COURT-MOYENNE PÉRIODE .....	141
6.3	SCÉNARIO DANS LA PHASE DE DIFFUSION CONSOLIDÉE DU GNL COMME COMBUSTIBLE MARIN À MOYEN-LONG TERME .....	143
6.4	CONSIDÉRATIONS ET RECOMMANDATIONS TRANSVERSALES.....	147

## INDEX DES CHIFFRES

Figure 1: Le développement prévu du GNL dans les prochaines années.....	11
Figure 2: Synthèse du Scénario de la demande prévu par le QSN .....	11
Figure 3: scénario de la demande nationale pour typologie d'utilisation au 2030 (Snam).....	12
Figure 4: scénario de la demande nationale (kt) pour typologie d'utilisation au 2030 (REF-E) .....	13
Figure 5: attribution de la demande nationale pour typologie d'utilisation au 2030 (REF-E) .	13
Figure 6: Nombre de navires en fonctionnement et en construction, source DNV - mars 2019 .....	15
Figure 7: Géolocalisation des infrastructures et des navires au GNL, source DNV - Mars 2019 .....	16
Figure 8: Nombre de navires en exploitation et en construction, par type (source DNV - mars 2019) .....	16
Figure 9: Nombre de méthaniers en exploitation et en construction, par type et zone géographique d'utilisation (source DNV - mars 2019) .....	18
Figure 10: Nombre de méthaniers en exploitation et en construction, par an (source DNV - mars 2019) .....	19
Figure 11: Nombre de nouveaux navires de croisière alimentés au GNL en construction par année de livraison.....	25
Figure 12: Valeur des nouveaux navires de croisière alimentés au GNL par coût d'investissement et tonnage.....	26
Figure 13: Répartition du nombre de nouveaux navires de croisière au GNL par compagnie maritime.....	26
Figure 14: Systèmes de GNL installés à bord d'Aida Nova et opérations de ravitaillement de navire à navire .....	29
Figure 15: Costa Smeralda .....	30
Figure 16: Itinéraires de voyage des navires de croisière au GNL opérant dans la zone d'intérêt.....	30

Figure 17: scénarios de développement au 2030 du GNL dans la chaîne du transport terrestre .....	36
Figure 18: développement du réseau de stations au C-LNG en Italie et en Europe .....	37
Figure 19: tendance des immatriculations de camions GNL en Europe .....	40
Figure 20: Scania Interlink Medium Decker LNG fuelled, .....	41
Figure 21: Contexte de référence pour l'offre de services GNL à petite échelle dans la région tyrrhénienne-ligure .....	42
Figure 22: Schéma de fonctionnement du terminal GNL d'importation ENAGAS .....	45
Figure 23: Le réseau de la distribution du gaz naturel.....	47
Figure 24: Plante FSRU OLT Offshore LNG Toscana.....	48
Figure 25: Diagramme de flux de processus du terminal "FSRU Toscana" .....	49
Figure 26: le terminal de regazéification GNL Italia à Panigaglia .....	50
Figure 27: le terminal de Oristano .....	53
Figure 28: le Rendering du depot Cotier GNL e des de chaergement de Ravenna .....	55
Figure 29: le Rendering du depot GNL de Venise.....	56
Figure 30: Rendering et illustration du bunker ship "Coral Methane".....	64
Figure 31: Rendering et illustration de la barge "Clean Jacksonville" .....	65
Figure 32: Deux réservoirs GNL de 250m installés sur le ponton de Baguazhou .....	67
Figure 33: Test pilote de soutage STS dans le port de Bilbao à l'aide d'un ponton .....	68
Figure 34: Rendering du ponton GNL Flex Fueler 002.....	69
Figure 35: Rendering du Semi Ballastable Barge Transporter (SBBT).....	70
Figure 36: Utilisation de flexibles pour le transfert de GNL en mode STS du naviree de soutage Seagas dans le port de Stockholm.....	71
Figure 37: Utilisation de conduites flexibles pour le transfert de GNL en mode STS de la bunkerine Coralius dans le port de Göteborg.....	71

Figure 38: Rendu et unité en bras de chargement rigide articulé pouvant être installé à bord du naviree.....	72
Figure 39: Unité de rendu et de développement d'un bras de chargement semi-rigide innovant .....	73
Figure 40: Opérations d'avitaillement STS sur le naviree AIDA Nova par Coral Methane dans le port de Santa Cruz de Tenerife. ....	75
Figure 41: LBV Kairos lors de la première opération de ravitaillement en STS du porte-conteneurs Wes Amelie au large du port de Hambourg. ....	75
Figure 42: LBV Kairos lors de la première opération de ravitaillement en STS sur le ferry de Visborg dans le port de Visby (Suède).....	76
Figure 43: Bras de chargement / déchargement de GNL typiques sur le quai.....	80
Figure 44:PTS bunkering au navire Ternsund à Pori (Finlandia).....	81
Figure 45: Pilote ravitaillement en mode PTS (à gauche) et TTS (à droite) vers le naviree Damia Desgagnés dans le port de Carthagène au terminal d'Enagas.....	82
Figure 46: Bras de chargement fixe sur le quai pour les opérations de soutage PTS dans le port de Risavika .....	82
Figure 47: PTS bunkering à Goteborg .....	84
Figure 48: Exemples et agencement d'une semi-remorque type pour le transport de GNL par route .....	85
Figure 50: Option d'expédition conteneurisée par bateau d'unités ISO .....	87
Figure 51: Conteneur ISO avec remorque sur le quai en attente de chargement (à gauche) et de déchargement (à droite) du naviree Ro-Ro lors d'une application pilote sur l'itinéraire Barcelone-Livourne.....	88
Figure 52: Transport multimodal par bateau (à gauche) et par rail (à droite) de conteneurs ISO LNG, réalisé dans le cadre du projet CORE LNGas Hive.....	89
Figure 67: TTS bunkering à Samnøy (gauche) et Fure Vinga (dr.) à Ferrol et Cartagena ....	99
Figure 72: usines de production de biométhane et de biogaz en Europe .....	105
Figure 73: Cycle du Bio-GNL .....	107

Figure 74: *Projet Biométhane en Italie* ..... 107

## INDEX DES TABLEAUX

Tableau 1: analyse comparative des scénarios de pénétration du GNL sur le marché du soutage maritime sur la période 2025-2040 (mtpa) .....	11
Tableau 2: Nombre de navires en fonctionnement et en construction, source DNV - mars 2019 .....	15
<i>Tableau 3: Nombre de ferries alimentés au GNL en service et en construction, par an (source DNV - mars 2019).....</i>	<i>20</i>
<i>Tableau 4: Nombre de porte-voitures / car-pax au GNL en service et en construction, par an (source DNV - mars 2019).....</i>	<i>21</i>
Tableau 5: Nombre de porte-conteneurs alimentés au GNL en service et en construction, par an (source DNV - mars 2019) .....	23
Tableau 6: liste des navires poussés par GNL .....	27
Tableau 7: demande maritime potentielle de GNL pour la région tyrrhénienne-ligure (projet GAINN).....	32
Tableau 8: synthèse des différents scénarios relatifs à la demande maritime potentielle de GNL pour la zone tyrrhénienne-ligure .....	34
Tableau 9: demande potentielle du GNL pour le port de Gênes (projet GAINN4MOS) .....	34
Tableau 10: demande potentielle maximale de soutage de GNL dans les ports de Ligurie ..	35
Tableau 11: Immatriculations de camions avec Ptt> 3,5 tonnes. Par type d'alimentation .....	39
Tableau 12: tarifs des services GNL à petite échelle appliqués au terminal de Fos Marseille .....	44
Tableau 13: tarifs pour les services GNL à petite échelle appliqués dans le terminal de Barcelone (ENAGAS) .....	46

Tableau 14: les terminaux de regazéification de la région tyrrhénienne-ligure .....	48
Tableau 15: les terminalaux à petite échelle en cours de réalisation en Italie .....	52
Tableau 16: L'offre de service des Terminaux GNL dans la zone Ligiurienne-Thyrrenienne	58
Tableau 17: Spécifications des services .....	59
Tableau 18: Mode de bunkering du GNL .....	62
Tableau 19: principales caractéristiques dimensionnelles des différentes tailles de navires de soutage de GNL.....	65
Tableau 20: Liste des bunker ship en foctionnement et en costruction .....	77
Tableau 21: Le mécanisme incitatif prévu par le Biométhane DM.....	106
Tableau 22: Hypothèses de la station d'épuration de biométhane et volumes associés de Bio-GNL produits .....	111
Tableau 30: SWOT – Gros depots (>10.000m <sup>3</sup> ).....	128

## 1. PREMISSE ET INTRODUCTION

Ce rapport contient la contribution de IRE SPA au produit T1.5 du programme Signal Project Italie France Maritime 2014-2020, relatif à l'analyse du scénario et de la structure possible du réseau GNL pour le contexte ligurien.

Le GNL est une alternative très prometteuse aux carburants actuels pour contenir les émissions de CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> induites par le trafic maritime. En plus de ce besoin, les ports liguriens explorent récemment des moyens d'améliorer les émissions à terre induites par les véhicules lourds employés pour les opérations de manutention et de chargement / déchargement grâce à l'utilisation de moteurs GNL et / ou bicarburant.

Les infrastructures côtières de réception et de soutage de GNL peuvent également alimenter un certain nombre d'utilisateurs terrestres hors réseau, du ravitaillement direct de véhicules lourds alimentés au GNL au remplissage de camions-citernes et de conteneurs ISO dirigés vers des dépôts satellites, des stations de ravitaillement pour le transport situé dans un rayon de 400 km et à la fois pour les utilisateurs industriels et civils

Les infrastructures GNL nouvellement acquises pourraient donner un avantage concurrentiel aux ports ligures qui ont le potentiel de se positionner comme un moteur vertueux dans le domaine de la coopération transfrontalière dans laquelle diverses réalités portuaires appartiennent au «Cluster GNL».

Le développement des services à petite échelle par les terminaux d'importation à proximité des ports liguriens représente un avantage concurrentiel supplémentaire en termes de coûts et de délais d'approvisionnement des dépôts.

Cette étude, à partir de l'analyse de la demande, analyse les alternatives possibles du scénario relatif à l'offre et à la distribution / utilisation de GNL pour le cluster ligurien.

L'étude a été menée en tenant compte des résultats produits par les composantes T1.3 et T1.4 du projet SIGNAL, représentant des scénarios de développement plausibles à différentes échelles de temps visant à satisfaire les obligations établies par la législation européenne et nationale, les exigences des législations et les besoins de la logistique terrestre / maritime.

Le document comprend les informations spécifiques suivantes:

- L'analyse de la demande de GNL et du potentiel de développement (chapitre 2), qui à partir du marché potentiel relatif à l'offre de gaz naturel liquéfié (GNL) identifié dans le Cadre stratégique national (QSN), analyse ponctuellement l'évolution du maritime et du terrestre en systématiser les études et hypothèses déjà menées récemment dans d'autres contextes et projets, en se concentrant également sur la prévision du développement de la demande de GNL dans l'arc tyrrhénien-ligure;
- Analyse de l'offre dans le contexte territorial de référence (chapitre 3), c'est-à-dire la disponibilité des infrastructures avec des services actifs à petite échelle et la planification de nouvelles usines dans la zone étudiée;

- Analyse des solutions technologiques disponibles pour l'avitaillement et le transport de GNL, ainsi qu'un aperçu exhaustif et actualisé des exemples d'application les plus récents (chapitre 4).

Compte tenu des analyses précédentes, le rapport élabore enfin:

- Analyse des différentes solutions technologiques pouvant être adoptées et des différents scénarios de développement se référant au contexte ligure, dans le cadre des hypothèses d'évolution du réseau GNL national et occidental de la Méditerranée à court, moyen et long terme (Chapitre 5);
- Remarques finales issues des résultats des différentes analyses et focalisées sur le dimensionnement des usines, leurs coûts et le degré de complémentarité avec les autres composantes du réseau (chapitre 6).

## 2. LA DEMAND DE GNL ET LE DEVELOPPEMENT POTENTIEL

Le cadre stratégique national (QSN) sur la «fourniture de gaz naturel pour les transports et autres usages» annexé à la transposition nationale de la directive 2014/94 (dite DAFI) sur la construction du réseau pour carburants alternatifs a récemment analysé le potentiel marché relatif à la fourniture de gaz naturel liquéfié (GNL) pour la navigation maritime et intérieure, le transport routier et d'autres usages.

En ce qui concerne le marché du gaz naturel, le cadre national souligne comment l'émergence de nouvelles technologies a permis de mettre sur le marché des ressources qui jusqu'à il y a quelques années étaient impossibles à développer et qui ont conduit à une augmentation des volumes échangés et des acteurs impliqués, avec une multiplication conséquente des itinéraires parcourus, avec plus de 350 transporteurs de gaz actifs sur les lignes transocéaniques. Dans le même temps, la composante «spot» des achats a augmenté sa part, atteignant 30% des volumes échangés, et la compétitivité entre opérateurs alternatifs s'est accrue tant du côté de l'offre que du côté de la demande.

En ce qui concerne le gaz naturel liquéfié (GNL), les estimations fournies par le cadre stratégique national prévoient un développement significatif du marché du GNL dans les années à venir. La consommation nationale de GNL estimée à 2030 est comprise entre 5,5 et 7 millions de tonnes par an, dont:

- Entre 50 et 60% pour le transport;
- Entre 25 et 30% pour les usages industriels;
- Entre 7 et 10% pour les usages civils;
- Entre 14% et 20% pour le transport naval.

Les prévisions d'évolution du marché sont liées à plusieurs variables dont:

- Maintien de l'avantage fiscal actuel du gaz par rapport aux carburants traditionnels;
- Maintien d'un cadre réglementaire favorable au développement du GNL;
- Disponibilité de véhicules à des prix compétitifs.

Les impacts de la DAFI concernent un nombre plus limité d'acteurs moyens-grands du transport maritime, tandis que les interventions dans le secteur routier pourraient toucher jusqu'à 80 000 entreprises en possession de poids lourds (source PwC).

Figure 1: Le développement prévu du GNL dans les prochaines années

Il consumo di LNG stimato per il 2030 è pari a **5,5 - 7 milioni di tonnellate all'anno**, di cui:

- Tra il 50 e il 60% per il trasporto;
- Tra il 25 e il 30% per usi industriali;
- Tra il 7 e il 10% per usi civili;
- Tra il 14% e il 20% per il trasporto navale.

### Previsioni per la diffusione di veicoli a LNG

Veicoli	2020	2030
Mezzi di trasporto pesante su strada a LNG veicoli pesanti	-	12 - 15% (30.000 - 35.000 mezzi)*
Mezzi navali alimentati a LNG di nuova costruzione	2	35
Conversione di mezzi navali alimentati a LNG	5	25

\*percentuale sul parco circolante sia mono fuel che dual fuel

Source: PWC – base de données QSN, 2017

Figure 2: Synthèse du Scénario de la demande prévu par le QSN

APPLICAZIONE	PREVISIONI 2020	PREVISIONI 2025	PREVISIONI 2030
Impianti di stoccaggio presso terminali di rigassificazione	3	4	5
Impianti di stoccaggio (secondari) di GNL	5	15	30
Impianti di rifornimento di GNC integrati con GNL	2%	10%	800
Mezzi di trasporto pesante su strada a GNL - veicoli nuovi			12% - 15% (30-35.000)
Impianti di rifornimento di GNC	1300	1900	
Mezzi alimentati a GNC su strada	1.350.000	2.300.000	
Mezzi navali alimentati a GNL di nuova costruzione	2	20	35
Conversione di mezzi navali alimentati a GNL	5	20	25
Punti di carico per i veicoli cisterna di GNL	5	7	10
N. di punti rifornimento stradale lungo la rete TEN-T	3	5	7
Punti di rifornimento di GNL per mezzi navali nei porti	10	12	20

À partir de l'analyse des scénarios d'évolution de la demande, il a été constaté qu'à moyen et long terme la demande de transport maritime, dans le sillage de la réglementation sectorielle de plus en plus stricte sur la pollution atmosphérique (limite de 0,5% de teneur en soufre des carburants marins d'ici 2020), peut jouer un rôle croissant dans le développement du marché du GNL et du réseau de distribution associé.

À l'échelle mondiale, pour le marché du soutage maritime, les scénarios de pénétration du GNL prévoient un niveau de demande compris entre 20 et 30 millions de tonnes par an à partir de 2030 (analyse comparative de l'Oxford Institute for Energy Studies, 2018: "A review of demand prospects for LNG as a marine transport fuel").

Tableau 1: analyse comparative des scénarios de pénétration du GNL sur le marché du soutage maritime sur la période 2025-2040 (mtpa)

Source/Scenario	2025	2030	2035	2040
IEA - Sustainable Development	11.6	18.8	26.8	37.0
IEA - New Policies	23.9	29.7	36.2	41.3
ENGIE/PWC		24-30		
Lloyds Register	8-30	10-40	15-45	20-65

Source: Oxford Institute for Energy Studies, 2018 – base de données IEA WEO 2017, PWC, Lloyds Register 2017

Ces estimations sont également confirmées par les opérateurs nationaux qui, par rapport aux 10 millions de tonnes manutentionnées en 2018, prévoient une augmentation à 25 mètres d'ici 2030 (Assogasliquididi 2019).

Au niveau national pour le secteur maritime, les estimations du QSN prévoient jusqu'à 800 000 tonnes de GNL d'ici 2025 et 1 million d'ici 2030, avec 35 navires nouvellement construits au GNL d'ici 2030. Actuellement, plus de 25 grands navires de croisière alimentés au GNL sont en construction ou ont été commandés aux chantiers navals; une bonne partie de ceux-ci sera utilisée en Méditerranée, au profit de la logistique de soutien liée aux ports nationaux (voir paragraphe 2.1.1).

Toujours au niveau national, les projections du Snam estiment la demande de GNL en Italie à 1,6 Mtpa d'ici 2030 dans le scénario bas, et respectivement à 2,4 et 3 mtpa dans le scénario moyen et élevé, avec une évolution sensible de la demande liée au soutage à partir de 2025. Le scénario bas prévoit une demande pour le secteur maritime d'environ 0,1 mtpa d'ici 2025, avec une croissance pouvant atteindre 0,6 mtpa d'ici 2030.

Ces estimations sont également confirmées par une projection récente de REF-E (2019) qui prévoit d'ici 2030 un total d'environ 2,5 mtpa dans le scénario «soft» et jusqu'à 4,2 mtpa dans le scénario «dur», avec une demande maritime comprise entre 0,45 et 0,9 mtpa.

Figure 3: scénario de la demande nationale pour typologie d'utilisation au 2030 (Snam)

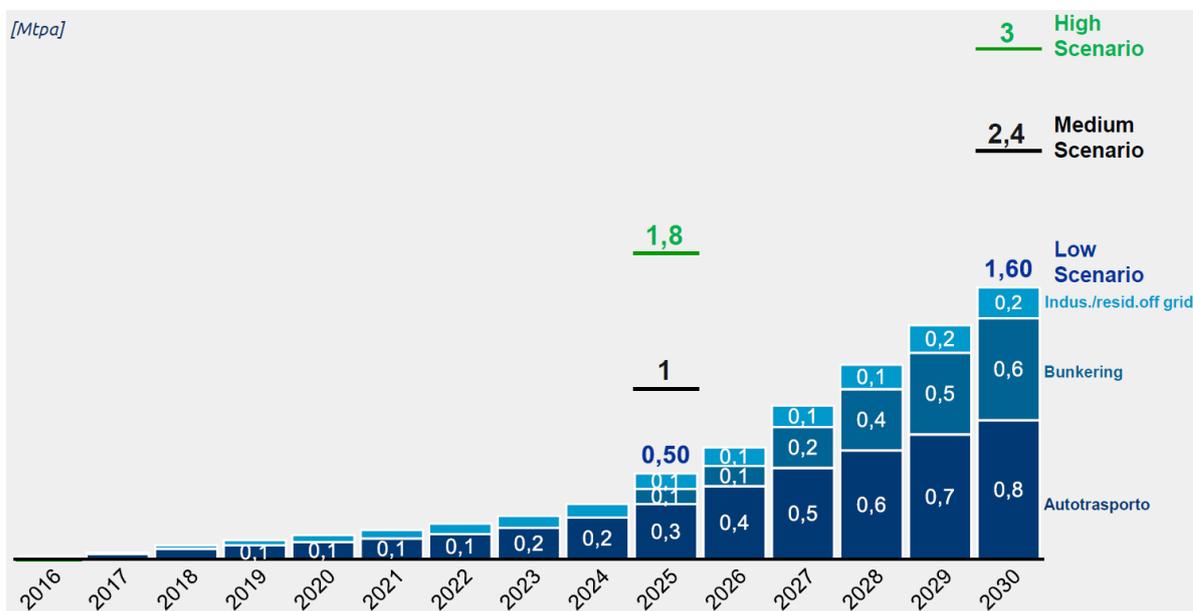


Figure 4: scénario de la demande nationale (kt) pour typologie d'utilisation au 2030 (REF-E)

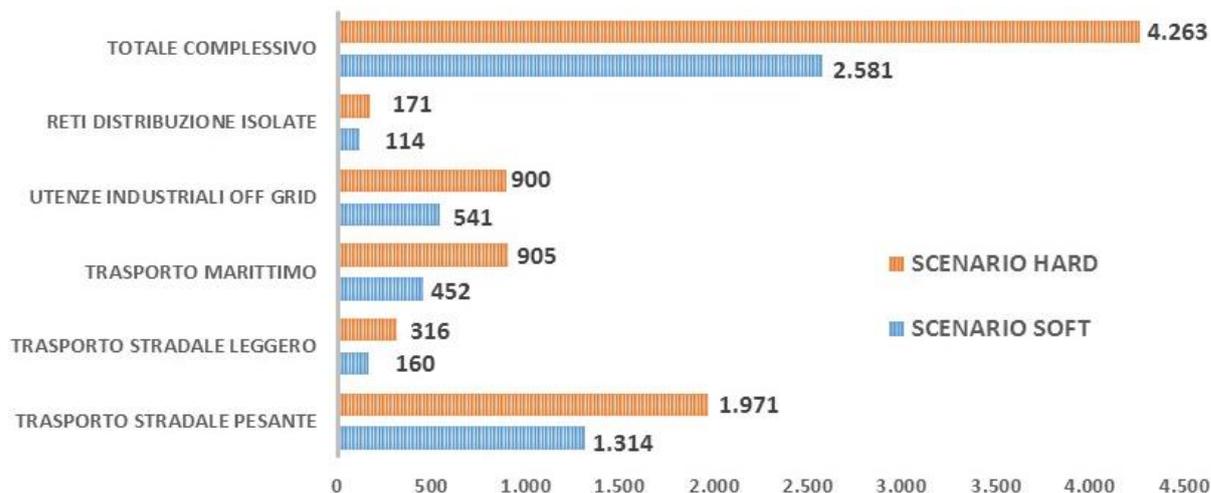
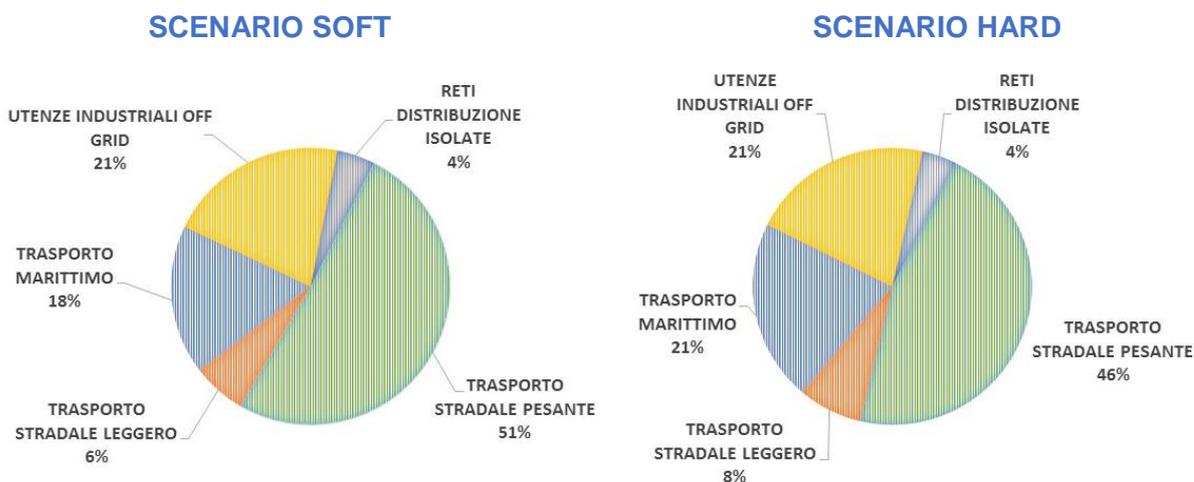


Figure 5: attribution de la demande nationale pour typologie d'utilisation au 2030 (REF-E)



Dans les deux études, il ressort que la demande foncière relative au secteur routier représente toujours la part majoritaire (estimée entre 45% et 50%) même dans les scénarios moyen-long terme, et qu'elle constituera donc également une voix importante dans le secteur maritime. chaîne d'approvisionnement infrastructurelle reliée aux gisements côtiers.

Sur la base de données se référant au réseau routier italien primaire (où 311300 trajets / jour sont effectués pour la manutention des marchandises), le QSN envisage un marché potentiel pour le transport avec des véhicules GNL égal à environ 75800 trajets / jour, soit environ un trajet, dont plus de 50 000 sont représentés par des allers-retours qui utilisent un seul point de ravitaillement utilisé au début du voyage. Cela signifie que la plupart des déplacements identifiés devraient avoir lieu dans un rayon de 300 à 400 km (source QSN). Les mouvements pouvant être effectués avec des véhicules GNL équivalent à environ 235 millions de tonnes x

km, soit 32% du total des mouvements actuellement présents sur le réseau routier italien (QSN, source CNH).

Dans le secteur routier, le potentiel de développement important du GNL est confirmé par le nombre croissant d'immatriculations de véhicules propulsés par ce type de carburant enregistrées ces dernières années (voir paragraphe 2.2.1). L'utilisation du GNL pour le transport permet en effet d'augmenter l'autonomie par rapport au gaz naturel comprimé (GNC) tout en conservant les avantages en termes de réduction des émissions par rapport au diesel. L'état liquide permet, pour un même volume, des distances environ 2,5 fois celles du GNC.

En ce qui concerne le marché des autres usages industriels (off-grid), le QSN estime une pénétration de 20% à l'horizon 2030, avec une demande qui peut être quantifiée en environ 3,5 millions de mètres cubes de GNL. Les prévisions de pénétration du GNL sur le marché des utilisateurs non connectés au réseau de distribution de gaz naturel en Italie fixent, comme objectif de consommation à l'horizon 2030, environ 1 million de tonnes de GNL consommées par les utilisateurs industriels, de 0,5 à 1 million de tonnes par an. consommées par les utilisateurs de la distribution de GNL à usage automobile, et environ 0,3 million de tonnes consommées par les utilisateurs civils hors réseau. La consommation totale hypothétique des utilisateurs non connectés au réseau de distribution de gaz naturel est comprise entre 1,8 et 2,3 millions de tonnes de GNL.

## 2.1 L'ÉVOLUTION DE LA FLOTTE MARITIME

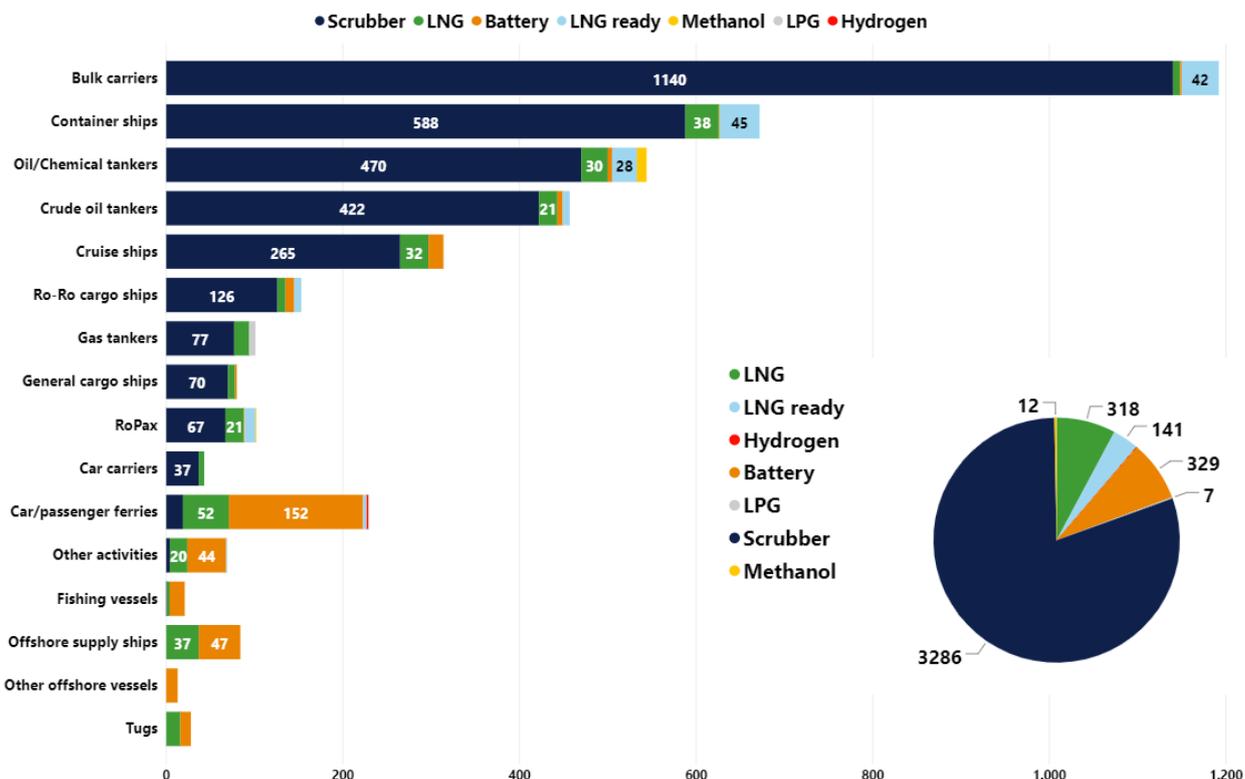
Le développement des unités navales alimentées au GNL s'est accéléré ces dernières années en vue de l'entrée en vigueur prochaine du règlement de l'OMI qui prévoit l'utilisation de carburants à usage maritime avec une teneur maximale en soufre de 0.5% à partir du 1er janvier 2020.

Au niveau mondial, parmi les différentes possibilités technologiques dont disposent les armateurs pour se conformer aux nouveaux seuils de teneur en soufre, l'installation d'épurateurs reste la solution la plus adoptée (80%), suivie des batteries (8%) et le GNL arrive en troisième position (7,8%). Cependant, si l'on compte aussi les navires préparés pour la future installation de GNL (dit LNG ready), la solution technologique relative au GNL remonte à la deuxième place avec une part égale à environ 11% du total. Il faut cependant garder à l'esprit que, si on les compare à la flotte marchande mondiale (estimée à environ 60000 unités), les parts liées à l'adoption des technologies susmentionnées sont drastiquement réduites: les épurateurs représentent environ 5% de la flotte mondiale et le GNL (GNL et GNL ready) seulement 0,8%.

Tableau 2: Nombre de navires en fonctionnement e en construction, source DNV - mars 2019

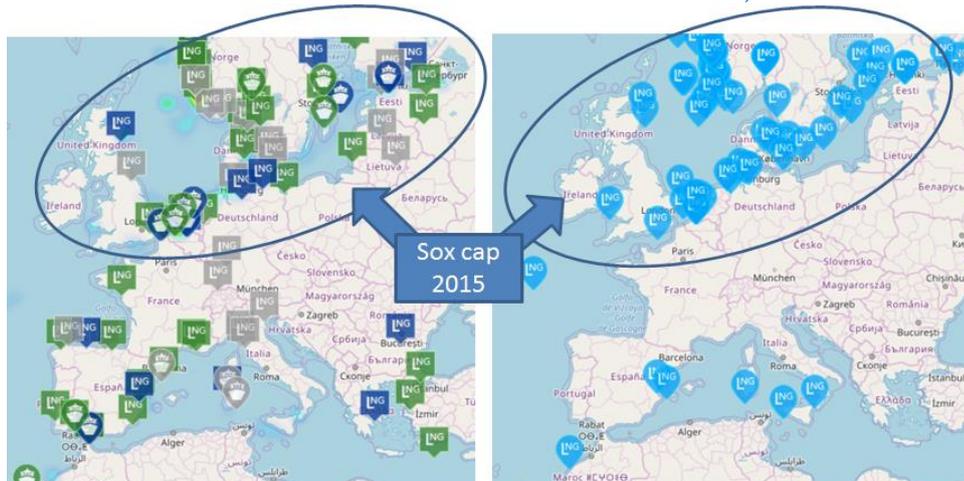
LNG	LNG ready	Idrogeno	Batterie	LPG	Scrubber	Metanolo
318	148	2	329	7	3286	12
7,8%	3,6%	0,05%	8,0%	0,2%	80,1%	0,3%

Figure 6: Nombre de navires en fonctionnement e en construction, source DNV - mars 2019



En examinant la répartition territoriale au niveau européen de la flotte GNL et des infrastructures terrestres associées, nous notons une évolution particulière dans les mers du nord de l'Europe en raison de l'introduction anticipée de limites de teneur en soufre, alors que la Méditerranée a subi un retard considérable que seule elle est se remplit actuellement. La figure suivante montre le développement de l'infrastructure GNL (à gauche) et des unités navales (à droite) en Europe.

Figure 7: Géolocalisation des infrastructures et des navires au GNL, source DNV - Mars 2019

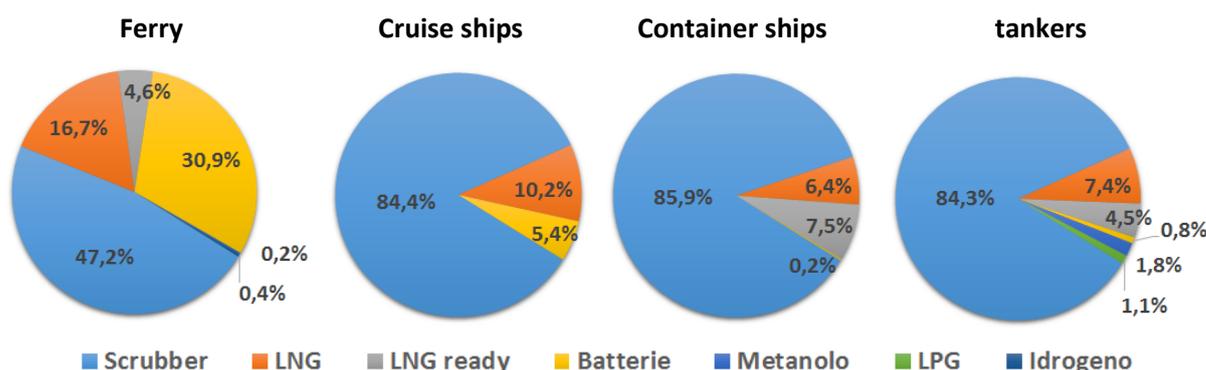


Cette évolution est bien représentée par l'analyse des unités navales alimentées au GNL qui est rapportée en détail par type de navire et zone de référence dans les analyses suivantes.

Si l'on examine la répartition des différentes options technologiques par type de navire, on confirme que les ferries sont le secteur où la pénétration de la solution GNL est la plus marquée, étant la solution privilégiée dans plus de 20% des cas (en ajoutant le GNL et le GNL catégories prêtes), suivi du secteur des croisières, des conteneurs et des pétroliers.

Les graphiques ci-dessous montrent les pannes technologiques (épurateur, GNL, prêt GNL, batteries, méthanol, GPL et hydrogène) pour les quatre types de navires mentionnés ci-dessus: Ferry (qui regroupe les types de cargos Ro-Ro, RoPax, Porte-voitures, Voiture / ferries de passagers); Bateau de croisière, porte-conteneurs et pétroliers (qui regroupe les types de pétroliers et de pétroliers).

Figure 8: Nombre de navires en exploitation et en construction, par type (source DNV - mars 2019)



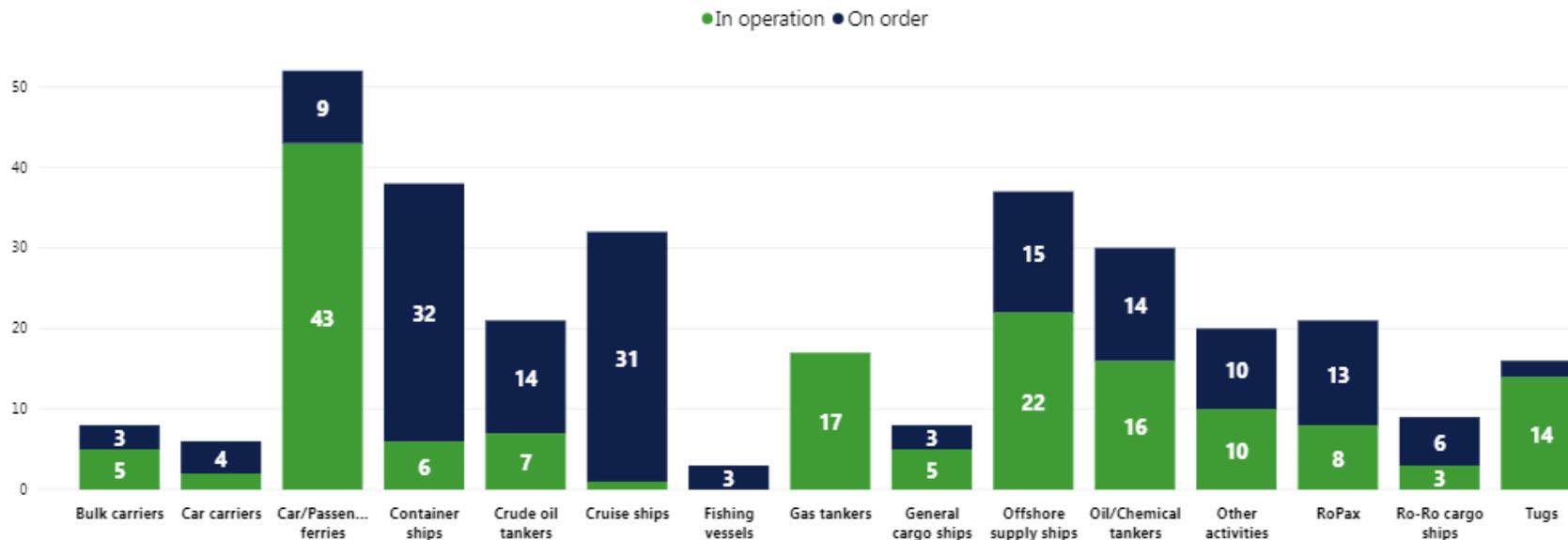
In Les tableaux 3 et 4 présentent la liste des nouveaux navires au GNL en construction pour le secteur des ferries (Ro-Pax, Ro-Ro cargo, Car carrier, Car-passagers ferries), avec indication de l'armateur, de la zone géographique de référence et l'année prévue de mise en service.

En additionnant les navires en service et bientôt mis en service, le secteur compte au total 86 unités, dont 52 font référence à la catégorie des ferries voitures-passagers, opérant pour la plupart en Norvège et en Amérique, suivies par Ro-Pax (21), Ro-Ro cargo (9) et Car carrier (4).

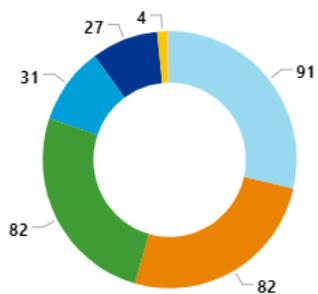
En ce qui concerne les porte-conteneurs utilisant le GNL comme carburant, à la date du présent rapport, 38 navires sont en service ou en carnet de commandes. Le coût relativement élevé associé à l'adoption du GNL, environ 25 à 30 millions de dollars par navire, ainsi que l'incertitude entourant les infrastructures de ravitaillement en gaz, constituent un élément dissuasif pour de nombreux transporteurs. Étant donné que le coût d'installation des épurateurs a considérablement chuté de 5 à 8 millions de dollars par unité il y a un an à seulement 3 à 5 millions de dollars aujourd'hui, cela semble être l'option la plus intéressante pour les transporteurs. (SRM 2019, sur la base des données Alphaliner). La liste des porte-conteneurs alimentés au GNL en service et en construction est présentée dans le tableau 5, en indiquant le propriétaire, la zone géographique de référence et l'année prévue de mise en service.

Un accent particulier sur le secteur des croisières, qui parmi les secteurs du transport maritime a le plus influencé le développement de la logistique de soutien liée aux ports méditerranéens et nationaux, est rapporté dans le paragraphe suivant.

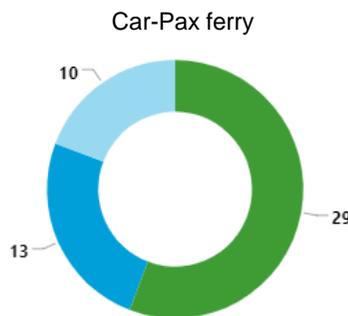
Figure 9: Nombre de méthaniers en exploitation et en construction, par type et zone géographique d'utilisation (source DNV - mars 2019)



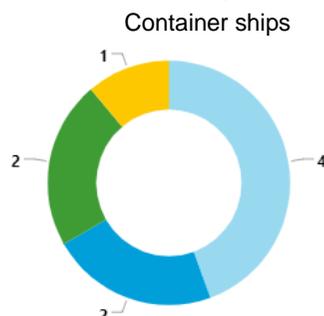
● Europe ● Global ● Norway ● America ● Asia ● Oceania



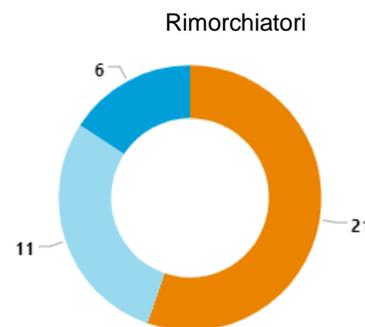
● Norway ● America ● Europe



● Europe ● America ● Norway ● Oceania



● Global ● Europe ● America



● Asia ● Norway ● Middle East

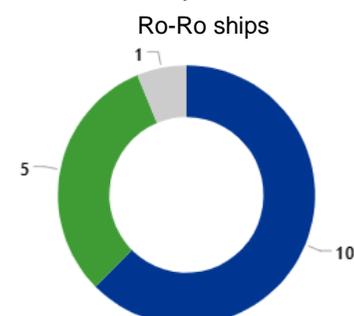
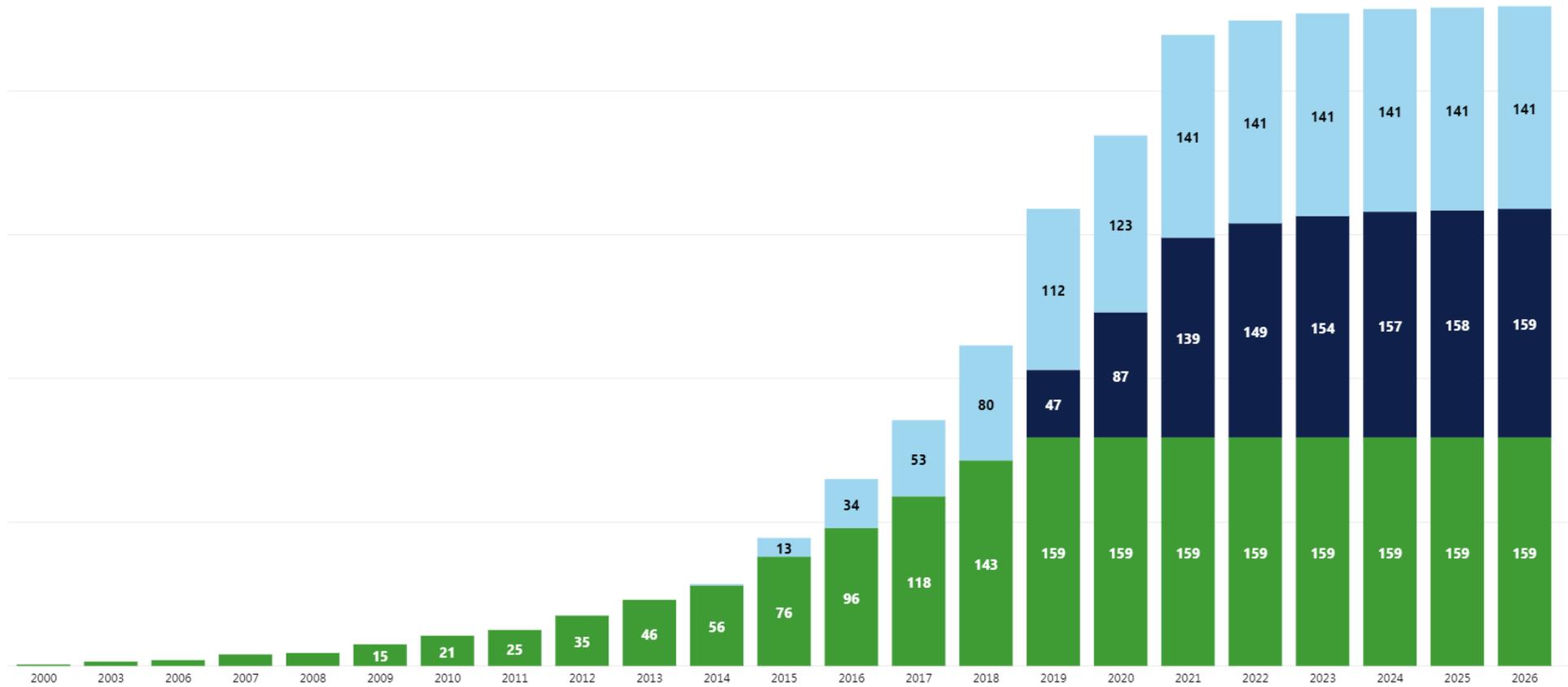


Figure 10: Nombre de méthaniers en exploitation et en construction, par an (source DNV - mars 2019)



*Tableau 3: Nombre de ferries alimentés au GNL en service et en construction, par an  
(source DNV - mars 2019)*

2013	Newbuild	Stavangerfjord	RoPax	Fjordline	Norway	DNV GL
2013	Newbuild	Viking Grace	RoPax	Viking Line	Europe	LR
2014	Newbuild	Bergensfjord	RoPax	Fjordline	Norway	DNV GL
2017	Newbuild	Megastar	RoPax	Tallink	Europe	BV
2017	Retrofit	Abel Matutes	RoPax	Baleària	Europe	BV
2018	Newbuild	Visborg	RoPax	Rederi AB Gotland	Europe	DNV GL
2019	Newbuild	Honfleur	RoPax	Brittany Ferries	Europe	BV
2019	Newbuild	Hypatia de Alejan...	RoPax	Baleària	Europe	RINA
2019	Newbuild	Marie Curie	RoPax	Baleària	Europe	Unkn...
2019	Newbuild	TBN	RoPax	Rederi AB Gotland	Europe	DNV GL
2019	Retrofit	Napoles	RoPax	Baleària	Europe	RINA
2019	Retrofit	Sicilia	RoPax	Baleària	Europe	RINA
2020	Newbuild	Xiamen	RoPax	Viking Line	Europe	DNV GL
2021	Newbuild	Salamanca	RoPax	Brittany Ferries	Europe	DNV GL
2021	Newbuild	TBN 1	RoPax	TT Line Co Pty Ltd	Oceania	LR
2021	Newbuild	TBN 2	RoPax	TT Line Co Pty Ltd	Oceania	LR
2021	Newbuild	TBN1	RoPax	Wasaline	Europe	--
2022	Newbuild	TBN	RoPax	Tallink	Europe	--
2022	Newbuild	TBN	RoPax	TT-Line GmbH	Europe	--
2022	Newbuild	TBN 1	RoPax	Polish Baltic Shippin...	Europe	Unkn...
2023	Newbuild	TBN	RoPax	Brittany Ferries	Europe	--
2015	Newbuild	Kvitbjørn	Ro-Ro cargo ships	Nor Lines	Norway	DNV GL
2015	Newbuild	Kvitnos	Ro-Ro cargo ships	Nor Lines	Norway	DNV GL
2016	Newbuild	Searoad Mersey II	Ro-Ro cargo ships	Searoad Holdings	Oceania	DNV GL
2021	Newbuild	TBN 1	Ro-Ro cargo ships	Wallenius SOL	Europe	LR
2021	Newbuild	TBN 2	Ro-Ro cargo ships	Wallenius SOL	Europe	LR
2021	Newbuild	TBN 3	Ro-Ro cargo ships	Wallenius SOL	Europe	LR
2021	Newbuild	TBN 4	Ro-Ro cargo ships	Wallenius SOL	Europe	LR
2021	Retrofit	Midnight Sun	Ro-Ro cargo ships	TOTE Shipholdings	America	ABS
2021	Retrofit	North Star	Ro-Ro cargo ships	TOTE Shipholdings	America	ABS

*Tableau 4: Nombre de porte-voitures / car-pax au GNL en service et en construction, par an (source DNV - mars 2019)*

Year of delivery	Project type	Ship name	Ship type	Shipowner	Area of operation	Class
2016	Newbuild	Auto Eco	Car carriers	UECC	Europe	DNV GL
2016	Newbuild	Auto Energy	Car carriers	UECC	Europe	DNV GL
2019	Newbuild	Siem Confucius	Car carriers	Siem Car Carriers	Global	ABS
2019	Newbuild	TBN 1	Car carriers	Siem Car Carriers	Global	ABS
2021	Newbuild	TBN 1	Car carriers	UECC	Global	DNV GL
2021	Newbuild	TBN 2	Car carriers	UECC	Global	DNV GL
2000	Newbuild	Glutra	Car/Passenger ferries	Fjord1	Norway	DNV GL
2006	Newbuild	Bergensfjord	Car/Passenger ferries	Fjord1	Norway	DNV GL
2007	Newbuild	Fanafjord	Car/Passenger ferries	Fjord1	Norway	DNV GL
2007	Newbuild	Mastrafjord	Car/Passenger ferries	Fjord1	Norway	DNV GL
2007	Newbuild	Raunefjord	Car/Passenger ferries	Fjord1	Norway	DNV GL
2007	Newbuild	Stavangerfjord	Car/Passenger ferries	Fjord1	Norway	DNV GL
2009	Newbuild	Dronningen	Car/Passenger ferries	Norled	Norway	DNV GL
2009	Newbuild	Kongen	Car/Passenger ferries	Norled	Norway	DNV GL
2009	Newbuild	Moldefjord	Car/Passenger ferries	Fjord1	Norway	DNV GL
2009	Newbuild	Prinsen	Car/Passenger ferries	Norled	Norway	DNV GL
2010	Newbuild	Fannefjord	Car/Passenger ferries	Fjord1	Norway	DNV GL
2010	Newbuild	Korsfjord	Car/Passenger ferries	Fjord1	Norway	DNV GL
2010	Newbuild	Romsdalsfjord	Car/Passenger ferries	Fjord1	Norway	DNV GL
2010	Newbuild	Selbjørnsfjord	Car/Passenger ferries	Fosen Namsos Sjø	Norway	DNV GL
2011	Newbuild	Boknafjord	Car/Passenger ferries	Fjord1	Norway	DNV GL
2012	Newbuild	Barøy	Car/Passenger ferries	Torghatten Nord	Norway	DNV GL
2012	Newbuild	Landegode	Car/Passenger ferries	Torghatten Nord	Norway	DNV GL
2012	Newbuild	Værøy	Car/Passenger ferries	Torghatten Nord	Norway	DNV GL
2012	Retrofit	Tresfjord	Car/Passenger ferries	Fjord1	Norway	DNV GL
2013	Newbuild	Francisco	Car/Passenger ferries	Buquebus	America	DNV GL
2013	Newbuild	Hardanger	Car/Passenger ferries	Norled	Norway	DNV GL
2013	Newbuild	Lødingen	Car/Passenger ferries	Torghatten Nord	Norway	DNV GL
2013	Newbuild	Ryfylke	Car/Passenger ferries	Norled	Norway	DNV GL
2015	Newbuild	F.A. Gauthier	Car/Passenger ferries	Society of Quebec fe...	America	LR
2015	Newbuild	Helgoland	Car/Passenger ferries	AG EMS	Europe	DNV GL
2015	Newbuild	Prinsesse Isabella	Car/Passenger ferries	Samsoe municipality	Europe	DNV GL
2015	Retrofit	Ostfriesland	Car/Passenger ferries	AG EMS	Europe	DNV GL
2016	Newbuild	Bergsfjord	Car/Passenger ferries	Boreal Transport Nord	Norway	DNV GL

2016	Newbuild	Hasvik	Car/Passenger ferries	Boreal Transport Nord	Norway	DNV GL
2016	Newbuild	Salish Orca	Car/Passenger ferries	BC Ferries	America	LR
2016	Newbuild	Seaspan Swift	Car/Passenger ferries	Seaspan Ferries Corp...	America	BV
2017	Newbuild	Salish Eagle	Car/Passenger ferries	BC Ferries	America	LR
2017	Newbuild	Salish Raven	Car/Passenger ferries	BC Ferries	America	LR
2017	Newbuild	Seaspan Reliant	Car/Passenger ferries	Seaspan Ferries Corp...	America	BV
2018	Newbuild	Armand-Imbeau II	Car/Passenger ferries	Society of Quebec fe...	America	LR
2018	Newbuild	Elio	Car/Passenger ferries	Caronte & Tourist	Europe	RINA
2018	Retrofit	Spirit of British Col...	Car/Passenger ferries	BC Ferries	America	ABS
2019	Newbuild	Færøy	Car/Passenger ferries	Torghatten	Norway	DNV GL
2019	Newbuild	Flatøy	Car/Passenger ferries	Torghatten	Norway	DNV GL
2019	Newbuild	Glen Sannox	Car/Passenger ferries	Clyde and Hebrides F...	Europe	LR
2019	Newbuild	Huftarøy	Car/Passenger ferries	Torghatten	Norway	DNV GL
2019	Newbuild	Jos-Deschenes II	Car/Passenger ferries	Society of Quebec fe...	America	LR
2019	Newbuild	Lysøy	Car/Passenger ferries	Torghatten	Norway	DNV GL
2019	Newbuild	Samnøy	Car/Passenger ferries	Torghatten	Norway	DNV GL
2019	Newbuild	TBN 1	Car/Passenger ferries	Royal Doeksen	Europe	LR
2019	Newbuild	TBN 2	Car/Passenger ferries	Clyde and Hebrides F...	Europe	LR
2019	Newbuild	TBN 2	Car/Passenger ferries	Royal Doeksen	Europe	LR
2019	Retrofit	Bencomo Express	Car/Passenger ferries	Fred. Olsen	Europe	DNV GL
2019	Retrofit	Spirit of Vancouve...	Car/Passenger ferries	BC Ferries	America	ABS
2020	Newbuild	TBN High Speed C...	Car/Passenger ferries	Baleària	Europe	BV
2021	Newbuild	TBN 1	Car/Passenger ferries	Seaspan Ferries	America	BV
2021	Newbuild	TBN 2	Car/Passenger ferries	Seaspan Ferries	America	BV

*Tableau 5: Nombre de porte-conteneurs alimentés au GNL en service et en construction, par an (source DNV - mars 2019)*

Year of delivery	Project type	Ship name	Ship type	Shipowner	Area of operation	Class
2015	Newbuild	Perla del Caribe	Container ships	TOTE Shipholdings	America	ABS
2016	Newbuild	Isla Bella	Container ships	TOTE Shipholdings	America	ABS
2017	Retrofit	Wes Amelie	Container ships	Wessels Reederei	Europe	BV
2018	Newbuild	Containerships Nord	Container ships	Containerships	Europe	ABS
2018	Newbuild	El Coquí	Container ships	Crowley Maritime Corporation	America	DNV GL
2018	Newbuild	Taino	Container ships	Crowley Maritime Corporation	America	DNV GL
2019	Newbuild	TBN 2	Container ships	Containerships	Europe	ABS
2019	Newbuild	TBN 3	Container ships	Containerships	Europe	ABS
2019	Newbuild	TBN 4	Container ships	CMA CGM	Global	BV
2019	Newbuild	TBN 4	Container ships	Containerships	Europe	ABS
2019	Retrofit	Sajir	Container ships	UASC	Global	DNV GL
2020	Newbuild	Brodosplit 476	Container ships	Brodosplit Shipping Company	Europe	DNV GL
2020	Newbuild	George III	Container ships	Pasha Hawaii	America	ABS
2020	Newbuild	Janet Marie	Container ships	Pasha Hawaii	America	ABS
2020	Newbuild	TBN	Container ships	Brodosplit Shipping Company	Europe	DNV GL
2020	Newbuild	TBN 1	Container ships	Brodosplit Shipping Company	Europe	DNV GL
2020	Newbuild	TBN 1	Container ships	CMA CGM	Global	BV
2020	Newbuild	TBN 1	Container ships	Eastern Pacific Shipping	Global	LR
2020	Newbuild	TBN 10	Container ships	CMA CGM	Global	BV
2020	Newbuild	TBN 11	Container ships	CMA CGM	Global	BV
2020	Newbuild	TBN 12	Container ships	CMA CGM	Global	BV
2020	Newbuild	TBN 13	Container ships	CMA CGM	Global	BV
2020	Newbuild	TBN 14	Container ships	CMA CGM	Global	BV
2020	Newbuild	TBN 2	Container ships	Brodosplit Shipping Company	Europe	DNV GL
2020	Newbuild	TBN 2	Container ships	CMA CGM	Global	BV
2020	Newbuild	TBN 2	Container ships	Eastern Pacific Shipping	Global	LR
2020	Newbuild	TBN 3	Container ships	CMA CGM	Global	BV
2020	Newbuild	TBN 5	Container ships	Containerships	Europe	ABS
2020	Newbuild	TBN 6	Container ships	CMA CGM	Global	BV
2020	Newbuild	TBN 6	Container ships	Containerships	Europe	ABS
2020	Newbuild	TBN 7	Container ships	CMA CGM	Global	BV
2020	Newbuild	TBN 8	Container ships	CMA CGM	Global	BV
2020	Newbuild	TBN 9	Container ships	CMA CGM	Global	BV
2021	Newbuild	TBN 3	Container ships	Eastern Pacific Shipping	Global	LR
2021	Newbuild	TBN 4	Container ships	Eastern Pacific Shipping	Global	DNV GL
2021	Newbuild	TBN 5	Container ships	CMA CGM	Global	BV
2022	Newbuild	TBN 6	Container ships	Eastern Pacific Shipping	Global	DNV GL

### 2.1.1 LES CROISIÈRES

Le secteur des croisières, grâce à l'impulsion donnée par le groupe Carnival, a été le véritable facteur favorable à l'adoption du GNL comme carburant à usage maritime.

Après avoir testé AIDAprima et AIDAprera (classe Hyperion), construits par le chantier japonais Mitsubishi à Nagasaki et mis en service respectivement mi-2016 et mi-2017, équipés d'un seul des quatre moteurs à double MDO / GNL (MaK M46) utilisable comme source d'énergie lorsque les navires sont amarrés sur le quai, grâce au programme de développement lié au «XL Project», le groupe Carnival a été le premier à briser le cercle vicieux «poulet-œuf» lié au besoin d'approvisionnement en GNL et des infrastructures de ravitaillement, définissant la ligne de développement que suivront ensuite tous les acteurs majeurs du secteur de la croisière.

A ce jour, le Groupe a passé neuf commandes dans les chantiers navals de Papenburg et chez son frère finlandais Meyer Turku: trois pour l'AIDA allemand (AIDAnova livré en décembre 2018, plus de nouvelles constructions pour des livraisons en 2021 et 2023); deux pour l'Italie Costa Crociere (Costa Smeralda en 2019 et une autre unité en 2021); deux pour P&O Cruises basées au Royaume-Uni (Iona en 2020 et une unité supplémentaire en 2022); et deux pour America's Carnival Cruise Lines (Mardi Gras en 2020 et une autre unité en 2022).

En juillet dernier, Carnival Corporation a réalisé des commandes de navires au GNL, signant un accord avec le chantier naval italien Fincantieri pour deux nouvelles constructions de 175000 tonnes commandées par la société américaine Princess Cruises, avec des livraisons prévues en 2023 et 2025.

Le 18 octobre 2018, le nouveau AIDAnova est devenu le premier navire de croisière au monde à être propulsé au gaz naturel liquéfié. A Eemshaven, aux Pays-Bas, le pétrolier «Cardissa» a rempli les trois réservoirs spéciaux pour un total d'environ 3 500 mètres cubes de GNL.

Sur le plan technique, tous les navires du Projet XL seront équipés des mêmes moteurs MaK (4 propulseurs de carburant MaK dual) et de la configuration des équipements GNL installés à bord d'AIDAnova qui comprennent 3 réservoirs cryogéniques de classe C, dont deux réservoirs d'environ 35 mètres de longueur, diamètre de 8 mètres et capacité de 1 550 mètres cubes et un troisième réservoir plus petit (diamètre de 5 mètres et long de 28 mètres) d'une capacité d'environ 520 mètres cubes.

Quant à l'autonomie opérationnelle des navires, un remplissage du réservoir de GNL peut assurer une navigation en haute mer pouvant aller jusqu'à deux semaines.

Les autres entreprises qui ont déjà commandé des navires de croisière alimentés au GNL comprennent:

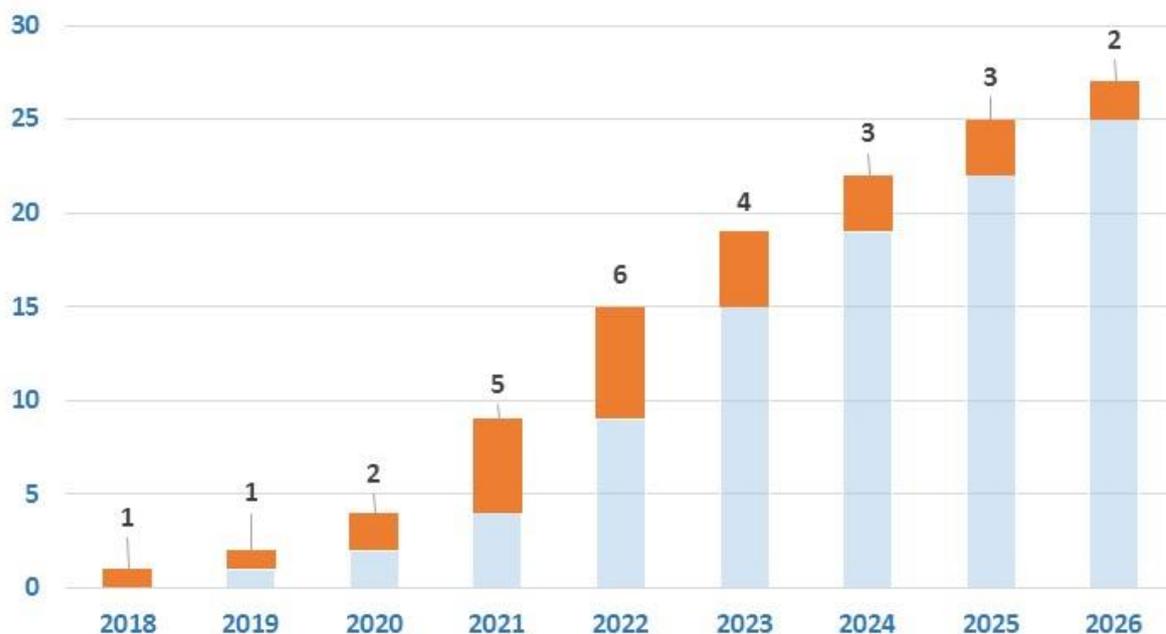
- Royal Caribbean, avec deux navires de 200 000 GT pour des livraisons en 2022 et 2024 depuis Meyer Turku;
- Disney, avec des navires de 140 000 tonnes pour des livraisons en 2021-2023 de Meyer Werft;

- TUI Croisies, avec deux navirees de 161 000 GT à Fincantieri, pour des livraisons en 2024 et 2026;
- Ponant, avec un naviree de 30 000 tonnes de Vard de Roumanie pour livraison en 2021;
- MSC, avec une nouvelle construction de 183500 tonnes aux Chantiers français de l'Atlantique pour livraison en 2023, plus deux navirees de 205700 tonnes du même chantier pour des livraisons en 2022 et 2024 et des options pour deux autres navirees de 205700 tonnes pour les livraisons en 2025 et 2026. Les navirees mis en service par MSC sont tous de type bicarburant.

Au total, les navirees alimentés au GNL représentent environ 25% de la commande globale du secteur, pour une valeur équivalente à plus de 4 300 tonnes (DWT) et environ 25 milliards d'euros de valeur d'investissement.

Les navirees nouvellement construits alimentés au GNL ont atteint le nombre de 27 unités, la plupart des livraisons étant concentrées sur la période 2021-2023 (15 unités), mais il est prévisible que dans la période 2024-2026, de nouvelles commandes et de nouvelles livraisons se matérialiseront en aval de l'activation des options de construction déjà prévues par certaines entreprises.

*Figure 11: Nombre de nouveaux navirees de croisière alimentés au GNL en construction par année de livraison*



Source: IRE SPA mars 2019

Figure 12: Valeur des nouveaux navires de croisière alimentés au GNL par coût d'investissement et tonnage

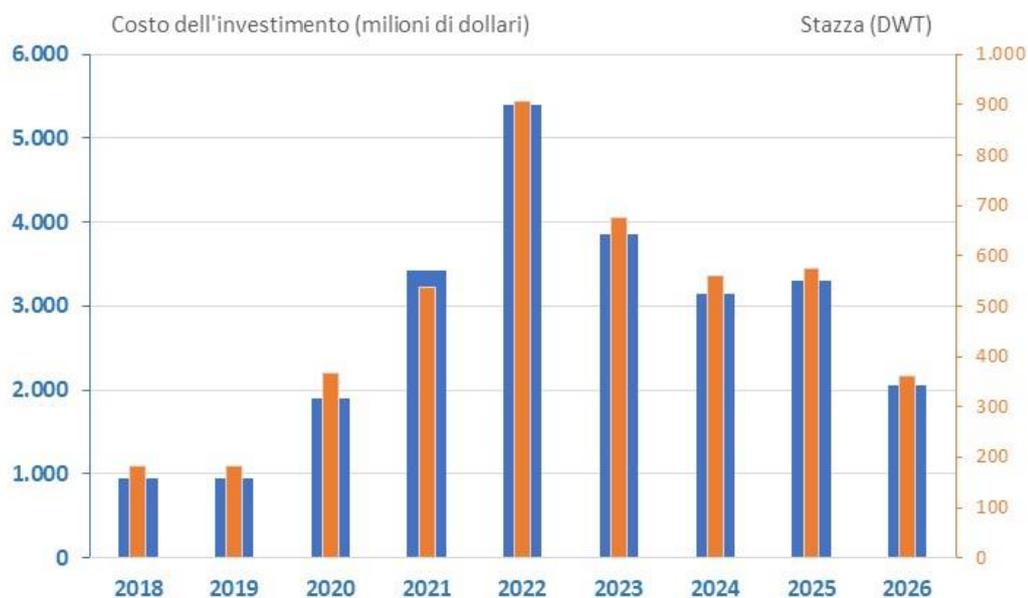


Figure 13: Répartition du nombre de nouveaux navires de croisière au GNL par compagnie maritime

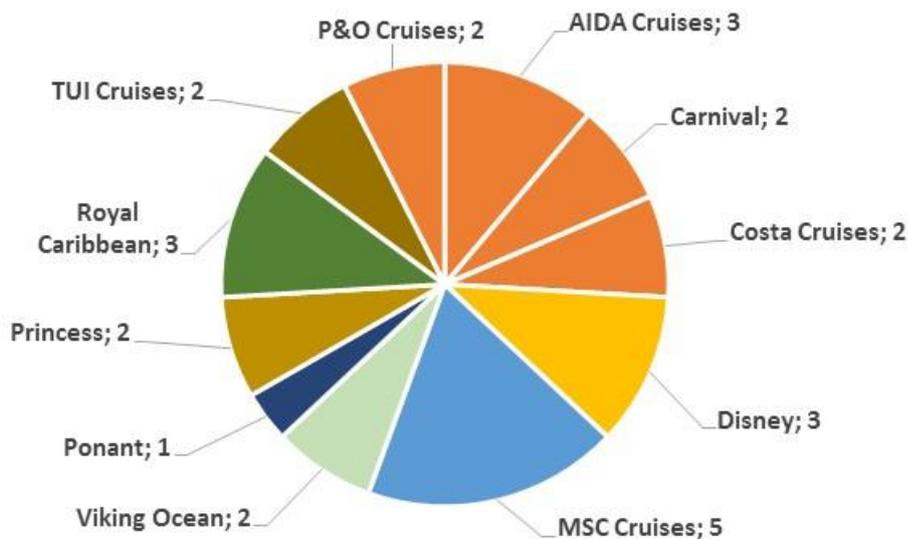


Tableau 6: liste des navires poussés par GNL

Anno di consegna	Compagnia	Nome della nave	Costo	Stazza	Capacità	Cantiere	Area di operatività
2018	AIDA Cruises	<i>Aida Nova</i>	\$950	183,9	5,2	Meyer	Europe
2020	Carnival	<i>Mardi Gras</i>	\$950	183,9	5,2	Meyer Turku	Nord America
2019	Costa Cruises	<i>Costa Smeralda</i>	\$950	183,9	5,224	Meyer Turku	Europe
2020	P&O Cruises	<i>Iona</i>	\$950	183,9	5,2	Meyer	Europa (UK)
2021	AIDA Cruises	<i>Unnamed</i>	\$950	183,9	5,4	Meyer	TBA
2021	Costa Cruises	<i>Unnamed</i>	\$950	183,9	5,224	Meyer Turku	TBA
2021	Disney	<i>Unnamed</i>	\$900	140	2,5	Meyer	TBA
2021	Ponant	<i>Commandant Charcot</i>	\$324	30	270	VARD	World
2021	Viking Ocean	<i>Unnamed</i>	\$305	TBA	TBA	VARD	World
2022	Carnival	<i>Unnamed</i>	\$950	183,9	5,2	Meyer Turku	TBA
2022	Disney	<i>Unnamed</i>	\$900	140	2,5	Meyer	TBA
2022	P&O Cruises	<i>Unnamed</i>	\$950	183,9	5,2	Meyer	Europa (UK)
2022	MSC Cruises	<i>Unnamed - World Class LNG</i>	\$1.200	200	5,4	Chantiers de l'Atlantique	TBA
2022	Royal Caribbean	<i>Unnamed - Icon Class ship</i>	\$1.100	200	5	Meyer Turku	TBA
2022	Viking Ocean	<i>Unnamed</i>	\$305	TBA	TBA	VARD	World
2023	AIDA Cruises	<i>Unnamed</i>	\$950	183,9	5,4	Meyer	TBA
2023	Disney	<i>Unnamed</i>	\$900	140	2,5	Meyer	TBA
2023	MSC Cruises	<i>Unnamed - Meraviglia Plus Class</i>	\$1.000	177,1	4,888	Chantiers de l'Atlantique	TBA
2023	Princess	<i>Unnamed</i>	\$1.000	175	4,3	Fincantieri	TBA
2024	MSC Cruises	<i>Unnamed - World Class LNG</i>	\$1.200	200	5,4	Chantiers de l'Atlantique	TBA
2024	Royal Caribbean	<i>Unnamed - Icon Class ship</i>	\$1.100	200	5	Meyer Turku	TBA
2024	TUI Cruises	<i>Unnamed</i>	\$850	161	4	Fincantieri	TBA
2025	Royal Caribbean	<i>Unnamed - Icon Class ship</i>	\$1.100	200	5	Meyer Turku	TBA
2025	MSC Cruises	<i>Unnamed - World Class LNG</i>	\$1.200	200	5,4	Chantiers de l'Atlantique	TBA
2025	Princess	<i>Unnamed</i>	\$1.000	175	4,3	Fincantieri	TBA
2026	TUI Cruises	<i>Unnamed</i>	\$850	161	4	Fincantieri	TBA
2026	MSC Cruises	<i>Unnamed - World Class LNG</i>	\$1.200	200	5,4	Chantiers de l'Atlantique	TBA

En ce qui concerne les navirees d'intérêt pour la mer Méditerranée et l'arc ligure et en référence aux possibilités et méthodes de soutage, selon les indications du groupe Carnival, pour Aida Nova et Costa Smeralda les approbations finales sont attendues afin de pouvoir effectuer les opérations de ravitaillement en mode naviree-naviree dans le port de Barcelone et dans le port de Marseille comme deuxième possibilité, si cela s'avère nécessaire.

Il convient de souligner que pour Aida Nova et Costa Smeralda, grâce à `` l'accord bleu de Civitavecchia ", accord stipulé par la municipalité, la capitainerie et l'autorité du système portuaire, l'AdSP sera responsable de 60% des quotas fixes pour la collecte des déchets, applicable et tous les navirees qui, lors des manœuvres d'accostage / départ et d'accostage, utilisent le GNL comme source d'énergie à bord.

### **AIDAnova**

AIDAnova exploitera un service de rotation hebdomadaire en Méditerranée occidentale dans les ports de Marseille, La Spezia, Civitavecchia, Majorque et Barcelone (port d'attache) dans la période juin-octobre 2019 et avril-octobre 2020, puis déménagera pour opérer aux Canaries. Îles pour le reste de l'année.

La configuration de l'équipement GNL installé à bord d'AIDAnova comprend 3 réservoirs cryogéniques de classe C, dont deux réservoirs d'environ 35 mètres de longueur, de diamètre de 8 mètres et de capacité de 1550 mètres cubes et un troisième réservoir plus petit (diamètre de 5 mètres et 28 mètres long) d'une capacité d'environ 520 mètres cubes, pour un total d'environ 3500 m3 de capacité de stockage de GNL.

Figure 14: Systèmes de GNL installés à bord d'Aida Nova et opérations de ravitaillement de navire à navire



Source: Carnival Corp.



Réservoir GNL installé à bord d'Aida Nova, source: <http://Intmarine.com>



Opération de soutage de navire à navire, Aida Nova, source: <http://antonyveder.com>

## Costa Smeralda

Le premier navire du groupe Costa à être propulsé au GNL devrait être baptisé dans le port d'attache de Savone le 3 novembre 2019, date du départ de la première croisière inaugurale qui naviguera sur les mers méditerranéennes.

Construit dans les chantiers navals finlandais Meyer Turk, le Costa Smeralda a une jauge brute de plus de 182 000 tonnes, une longueur de 337 mètres, une largeur de 42 avec une vitesse de croisière de 21 nœuds.

La «Croisière Vernissage» Costa Smeralda, d'une durée de 15 jours, partira de Hambourg le 20 octobre pour rejoindre Rotterdam, Lisbonne, Barcelone, Marseille et arriver à Savone, le port de référence de la flotte Costa.

Dans le programme commercial actuel de l'entreprise, la navigation en Méditerranée occidentale se poursuivra jusqu'en avril 2021, avec des croisières d'une semaine de Savone à Marseille, Barcelone, Palma de Majorque, Civitavecchia et La Spezia.

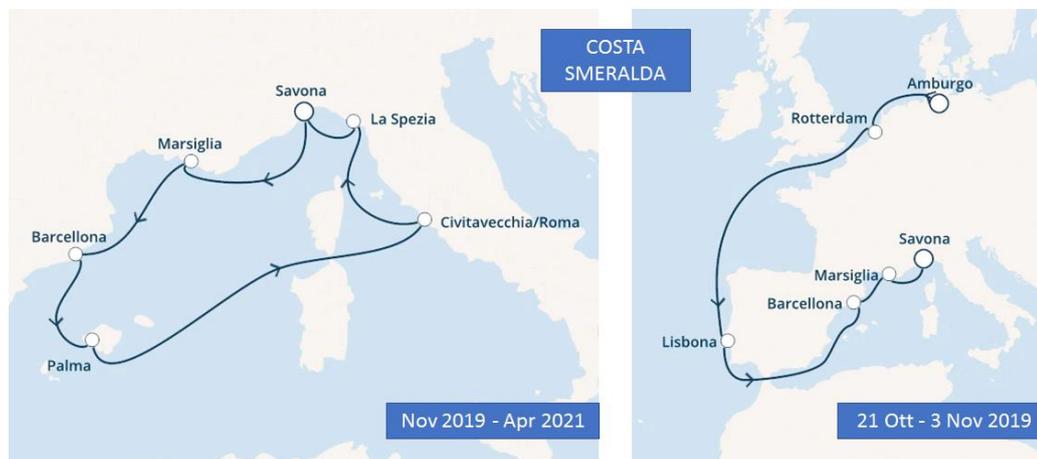
Figure 15: Costa Smeralda



Source: [www.costacrociere.it](http://www.costacrociere.it)

Les figures suivantes montrent les itinéraires de voyage des navires de croisière au GNL opérant dans la zone d'intérêt (Méditerranée, mer Ligure).

Figure 16: Itinéraires de voyage des navires de croisière au GNL opérant dans la zone d'intérêt  
**Costa Smeralda**



### Aida Nova



### Aida Prima



### Aida Perla



## 2.1.2 LES PRÉVISIONS DE L'ÉVOLUTION DE LA DEMANDE DE GNL DANS L'ARCHE TIRRÉNO-LIGURIENNE

Une étude de marché pour le réseau de GNL de Tirreno-Ligure, comprenant les principaux éléments portuaires de Gênes (et Savone), La Spezia et Livourne, dans son ensemble d'ici 2025 a été récemment évaluée dans le cadre du projet **GAINN4CORE** à travers un atelier et les observations reçues des partenaires et parties prenantes dans le contexte de référence.

L'étude GAINN a analysé en particulier les prévisions d'utilisation du GNL dans les secteurs suivants: ferries, croisières, petits navires (par exemple véhicules pour les services nautiques techniques), véhicules terrestres (camions et installations portuaires) et autres utilisateurs (par exemple pour le civil et usage industriel). L'analyse attribue à chaque unité sa demande (en m<sup>3</sup>) et sa fréquence d'approvisionnement (en opérations d'approvisionnement par semaine).

Pour le secteur maritime / portuaire, l'étude a émis l'hypothèse d'un besoin annuel de GNL d'environ 275 000 m<sup>3</sup> / an pour le scénario bas et 515 000 m<sup>3</sup> / an pour le scénario haut. Les principaux résultats de l'analyse sont présentés dans le tableau ci-dessous.

*Tableau 7: demande maritime potentielle de GNL pour la région tyrrhénienne-ligure (projet GAINN)*

Element	Low Scenario (n)	High scenario (n)	Low Scenario LNG capacity (m <sup>3</sup> )	High Scenario LNG capacity (m <sup>3</sup> )	Supply frequency (n/week)	Low Scenario LNG Demand (m <sup>3</sup> /year)	High Scenario LNG Demand (m <sup>3</sup> /year)
Ferries	2	4	850	850	1	88.400	176.800
Cruises	2	3	2.700	2.700	0,5	140.400	210.600
LNG/NG Bunker ship	3	4	400	400	0,3	18.720	24.960
Minor boats	0	3	50	50	1	0	7.800
Nautical technical services	6	18	35	35	1	10.920	32.760
LNG Shore-side electricity	2	4	50	75	2	10.400	31.200
Other uses (eg. locomotives)	1	4	50	75	1,5	3.900	23.400
Port facilities - Tractors	11	28	0,4	0,4	2,5	572	1.456
Port facilities – Reach stacker	11	36	0,4	0,4	3,5	801	2.621
Port facilities – RMG-RTG	5	17	1,5	1,5	2,5	975	3.315
<b>TOTALE MARITTIMO-PORTUALE</b>						<b>275.088</b>	<b>514.912</b>

Concernant le cas spécifique du port de Gênes, l'AdSP de la mer Ligure occidentale dans le cadre de l'initiative GAINN (projet GAINN4CORE) a récemment esquissé, également à travers des études spécifiques approfondies et des rencontres avec les opérateurs du secteur, un scénario de développement pour le système de stockage et de ravitaillement en GNL du port de Gênes, dans le cadre plus large de l'élaboration du nouveau plan de réglementation portuaire.

L'AdSP a souligné que le port de Gênes représente de loin la principale place italienne du bunker, traitant plus du double des ports italiens qui le suivent dans le classement des volumes préparé par Assocostieri. Globalement, le port de Gênes gère environ un tiers des soutes italiennes, notamment 34% à destination du secteur des ferries (ro-pax et ro-ro) et 12% pour le secteur des croisières. Il faut souligner que le secteur du transport régulier de passagers (ferries et croisières), dans lequel Gênes représente l'un des principaux ports nationaux, est raisonnablement considéré par les experts et en particulier par Confitarma lui-même, parmi les premiers secteurs qui pourront adopter GNL comme carburant alternatif pour la propulsion marine.

Les synthèses présentées ci-dessous sont le résultat de la comparaison et du développement du projet de l'AdSP avec les Parties Prenantes et en particulier avec les Associations représentant les Opérateurs.

Comme valeur intermédiaire de la question, on peut prendre comme référence:

- les estimations produites pour le sous-groupe «Naval Transport», coordonné par le MIT dans le cadre de l'élaboration du Plan stratégique national pour le GNL, sur la base des données du projet COSTA, considèrent une demande potentielle de GNL en 2025 dans le port de Gênes égale à environ 325000 m<sup>3</sup> et correspondant à une conversion de 25% des navires utilisés en 2012 dans la navigation du Short-Sea-Shipping (SSS) entre les ports principaux dans l'hypothèse que ces navires se ravitaillaient à la fois dans le port d'origine et dans le port de destination.

- les estimations préparées par Confitarma au niveau national, au sein du sous-groupe "Transport naval" susmentionné, ont estimé que l'ensemble des ports de la Ligurie (Gênes, Savone et Spezia), peut exprimer une demande potentielle de GNL comprise dans une fourchette comprise entre environ 100000 m<sup>3</sup> (2018-2020) et 1100000 m<sup>3</sup> (après 2025).

- les estimations préparées par Confitarma au niveau local à l'automne 2016 et qui reposent sur une méthodologie différente de celle utilisée au niveau national, à partir des données de consommation de la dernière année disponible (2015 pour les croisières et les ferries et 2014 pour les autres types de navires) et prévoyant un remplacement progressif de la consommation IFO et MDO à parts égales: à partir de 5% jusqu'à 50%.

Pour les autres types de navires, le décalage est calculé selon les mêmes critères que ceux utilisés au niveau national. Sur la base de cette approche, l'estimation de la demande potentielle dans le port varie d'une valeur minimale d'environ 97000 m<sup>3</sup> (correspondant à un

glissement vers le GNL de la consommation de soutes de 5% pour les croisières et ro-ro et de 2,5% - 5 % respectivement pour le fioul et le mdo pour les autres types de navirees) jusqu'à 970.000 m3 (correspondant à un glissement vers le GNL dans la consommation de soutes de 50% pour les croisières et ro-ro et 20% - 40% respectivement pour le fioul et le mdo pour les autres types de navirees).

Le tableau suivant représente le résumé des analyses ci-dessus.

*Tableau 8: synthèse des différents scénarios relatifs à la demande maritime potentielle de GNL pour la zone tyrrhénienne-ligure*

	<b>Confitarma nazionale (2018-2020)</b>	<b>Confitarma (scénario bas)</b>	<b>Progetto COSTA (2025)</b>	<b>Confitarma (scénario haut)</b>	<b>Confitarma (&gt; 2025)</b>
<b>Demande potentielle GNL (m<sup>3</sup>/année)</b>	80.000	97.000	325.000	970.000	1.110.000

Une autre étude spécifique pour le port de Gênes, spécifiquement centrée sur le secteur des ferries, a été menée par la Fundacion Valenciaport dans le cadre des projets GAINN4MOS et CORE LNGas HIVE PROJECT, cofinancés par l'Union européenne. L'étude (2016) fait partie de l'analyse de la demande maritime réalisée par la Fundacion Valenciaport pour Puertos del Estado et partage la même méthodologie.

La demande potentielle de GNL à usage maritime, pour le seul secteur des ferries, envisage dans le scénario haut environ 685000 m3 de soutage de GNL par an correspondant au besoin annuel de 25 unités de ferry dans l'hypothèse que les unités navales se ravitaillent dans le port de Gênes.

*Tableau 9: demande potentielle du GNL pour le port de Gênes (projet GAINN4MOS)*

<b>Carburant</b>	<b>Volume estimé de soutage de GNL (t)</b>	<b>Volume estimé de soutage de GNL (m<sup>3</sup>)</b>
Scénario haut – nouveaux ferries GNL	308,556	685.000

En ce qui concerne la demande potentielle de GNL pour les ports liguriens, compte tenu de l'incertitude de la situation globale, il est possible ici d'identifier le niveau maximal de demande dans un volume d'environ 3,5 millions de m3 / an, correspondant à l'hypothèse de conversion totale au GNL de la consommation actuelle de soutes (égale à environ 1,9 million de tonnes enregistrées en 2016, les dernières données disponibles fournies par l'IRE).

Vous trouverez ci-dessous des données agrégées relatives au soutage national et international collectées par IRE Liguria auprès des opérateurs portuaires en référence à

l'année 2016 par type de carburant et avec l'équivalent potentiel de soutage GNL exprimé en m<sup>3</sup>.<sup>1</sup>.

*Tableau 10: demande potentielle maximale de soutage de GNL dans les ports de Ligurie*

<b>Carburant</b>	<b>Volume de soutage enregistré dans le ports de la Ligurie (t)</b>	<b>Consommation équivalente potentielle de GNL (m<sup>3</sup>)</b>
Total huile brulante	1.829.206	3.304.468
Total Gas-oil	140.381	270.717
<b>TOTAL</b>	<b>1.969.587</b>	<b>3.575.185</b>

Dans le chapitre relatif aux scénarios de développement de la zone ligurienne, les différentes hypothèses relatives à la demande maritime potentielle de GNL seront analysées en relation avec les hypothèses des installations terrestres (gisements côtiers) réalisables dans la zone.

---

<sup>1</sup> Les valeurs calorifiques spécifiques suivantes par type de carburant ont été utilisées pour la conversion: GNL 49 200 kJ / kg, MGO / MDO 42 700 kJ / kg, HFO 40 000 kJ / kg.

## 2.2 LA DEMANDE DE GNL TERRESTRE

### 2.2.1 LA DOMANDE DE GNL POUR LES CAMIONS

NGVA Europe et l'European Biogas Association (EBA) ont défini les scénarios de développement du GNL dans la chaîne de transport à l'horizon 2030, prévoyant la circulation d'ici 2030 d'environ 280000 poids lourds contre 2500 actuels avec environ 2000 stations-service contre 195 déjà opérationnelles en Europe aujourd'hui (avril 2019). Globalement, la consommation de méthane pour le transport devrait tripler pour atteindre 30 milliards de mètres cubes, dont un tiers représenté par le GNL, avec une part croissante au fil des ans.

Figure 17: scénarios de développement au 2030 du GNL dans la chaîne du transport terrestre



Source: NGVA Europe e European Biogas Association

Au niveau national, le cadre stratégique national fournit, confirmant l'Italie en tant que leader dans la distribution de gaz comprimé et liquide à usage automobile au niveau européen. Le QSN prévoit une demande de GNL pour le transport lourd égale à 1.250.000 tonnes d'ici 2025 et 2.500.000 tonnes d'ici 2030, avec le développement d'environ 800 stations GNL d'ici 2030.

Selon les dernières données (2018) de l'association professionnelle Assogasliquidi, le secteur du gaz naturel liquéfié affiche une forte croissance tant en termes de consommation, qui a augmenté de 56%, qu'en termes de stations-service, qui ont plus que doublé au cours de l'année.

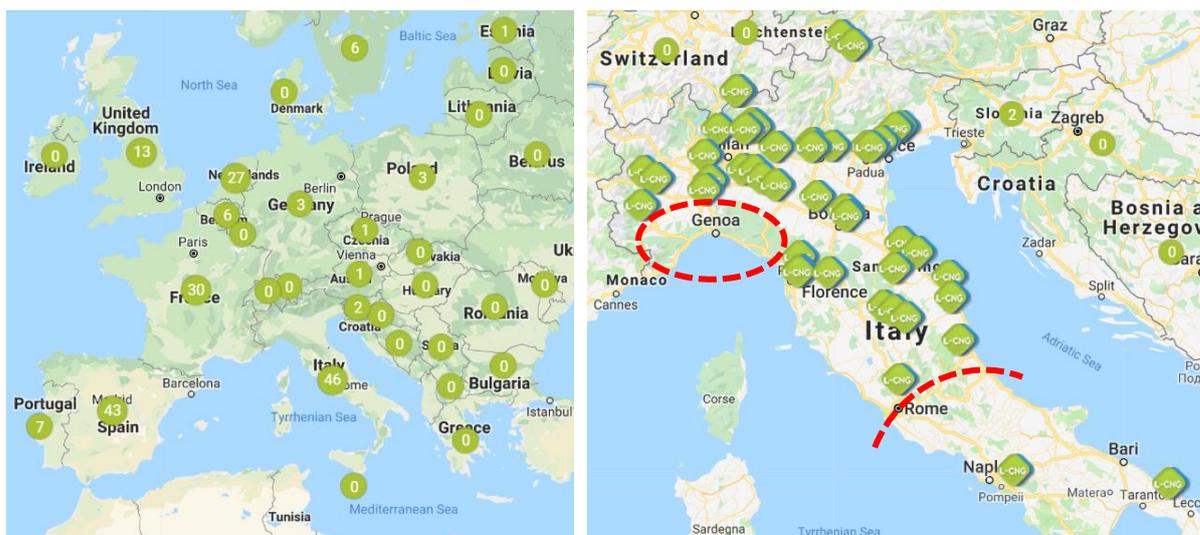
L'évolution des stations-service qui fournissent du gaz naturel liquéfié a marqué une croissance sans précédent au fil des ans. À ce jour, il y a un total de 46 stations C-LNG en Italie, confirmant l'Italie à la première place au niveau européen, suivie de l'Espagne (43) et de la France (30).

Les gares se sont développées principalement dans le centre-nord de l'Italie, tandis que le sud souffre d'une situation de pénalisation en raison d'un coût de transport plus élevé de la matière première en raison de l'éloignement plus important du point de chargement le plus proche (terminal de Marseille). La construction d'une infrastructure dans le contexte liguro-tyrrhénien

pourrait donc contribuer à faire baisser les prix de distribution du GNL et favoriser le développement du réseau de ravitaillement en GNL également dans le sud de l'Italie.

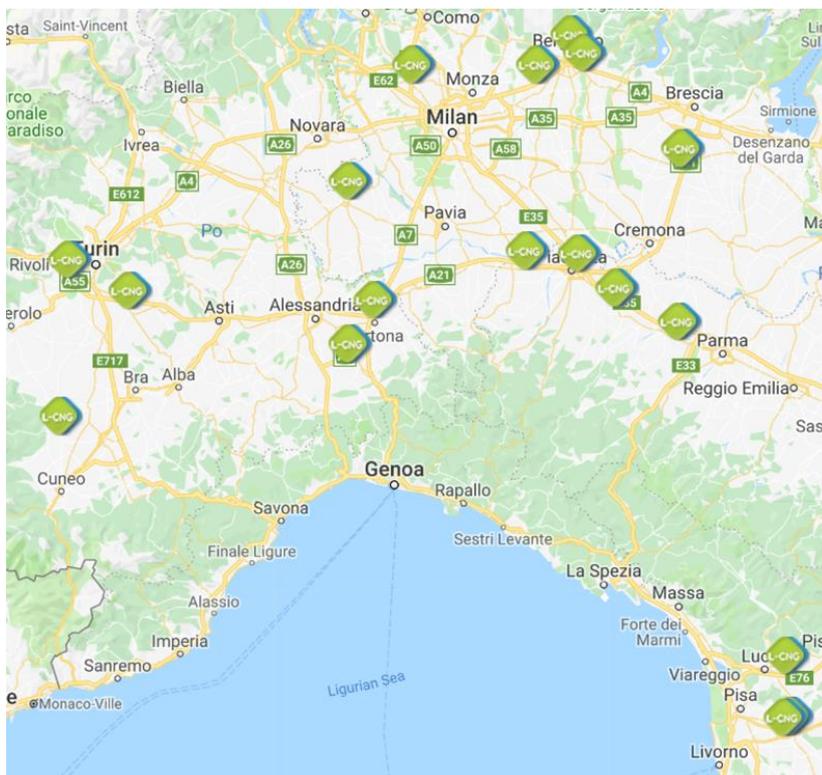
Les figures suivantes montrent le développement des stations sur le territoire national et dans la zone d'intérêt.

*Figure 18: développement du réseau de stations au C-LNG en Italie et en Europe*



*LNG Stations en Europe*

*LNG Stations en Italie*



Le fort potentiel de développement du GNL à usage automobile est confirmé par le nombre croissant d'immatriculations de véhicules fonctionnant au GNL enregistrées ces dernières années, favorisé par l'extension croissante du réseau de stations GNL, le développement de la technologie et le renforcement des incitations mises en place. place par le ministère des infrastructures et des transports.

Les incitations, mises à disposition par le MIT à partir de 2015 pour chaque rente, sont configurées comme des contributions aux investissements réalisés par les entreprises de transport routier pour faciliter l'achat, également par crédit-bail, de nouveaux véhicules d'usine, utilisés pour le transport de marchandises de masse globalement à pleine charge. égale ou supérieure à 3,5 tonnes. avec traction alternative au méthane GNC, GNL gaz naturel liquéfié, hybride (diesel + électrique) et électrique (Full Electric).

En ce qui concerne les poids lourds propulsés au GNL (d'une masse supérieure à 16 tonnes), le montant des contributions prévues consiste en une subvention non remboursable de 20000 euros par véhicule pour un maximum cumulé de 700000 euros, ce qui correspond à 35 camions.

Le développement du marché des véhicules lourds alimentés au GNL s'est également fait grâce à des solutions technologiques récentes qui ont conduit à une réduction de la consommation de carburant et à une maximisation de la capacité de charge. Actuellement, les solutions proposées par IVECO, leader de l'industrie, garantissent des moteurs de 460 chevaux avec double réservoir de GNL, ce qui garantit une autonomie de 1150 kilomètres, pour les «Low Tractors», tandis que dans le cas des véhicules non abaissés, l'autonomie maximale déclarée par le constructeur va jusqu'à 1 600 km. Le TCO déclaré - Coût total de possession est également 9% inférieur à celui d'un véhicule diesel équivalent.

D'un point de vue environnemental également, l'utilisation de solutions GNL implique une amélioration significative pour l'environnement à la fois d'un point de vue acoustique (les émissions sonores sont contenues par rapport aux moteurs diesel traditionnels) et en termes de réduction des émissions dans l'atmosphère. Selon les données des constructeurs, les émissions rejetées dans l'atmosphère par rapport aux versions diesel équivalentes sont réduites de 90% pour le NO<sub>2</sub>, de 99% pour les PM et, si le biométhane est utilisé, de 95% pour le CO<sub>2</sub>.

L'utilisation du GNL couvre le secteur du transport lourd sur de grandes distances avec des poids bien supérieurs à 3,5 tonnes. Si l'on retrace l'évolution du nombre de poids lourds propulsés au GNL au niveau national enregistré ces dernières années, au premier semestre 2016, 177 camions au gaz naturel ont été immatriculés, dont 110 au GNL. L'augmentation (154% par rapport au semestre précédent) était fortement corrélée à l'entrée sur le marché du Stralis NP 400 CV d'IVECO, qui répondait aux demandes des opérateurs en garantissant une puissance et une autonomie supérieures à la précédente version 320 CV.

L'évolution du nombre de véhicules lourds propulsés au GNL a montré une croissance encore plus significative ces deux dernières années.

Selon les dernières données de l'Association nationale de l'industrie automobile - ANFIA 2018 (novembre), dans la progression depuis le début de l'année, les immatriculations de camions GNL (ptt> 3,5 tonnes) ont doublé de 287 en 2017 à 600 unités, avec une part du total égale à 2,8%.

Parmi les carburants alternatifs, le GNL détient la plus grande part, ce qui montre que le marché reconnaît de plus en plus le gaz naturel comme une alternative principale au diesel dans l'automobile, étant une solution immédiatement utilisable et avec une infrastructure de distribution en constante expansion.

Les dernières données disponibles pour l'année 2019 confirment la tendance de croissance. Après le doublement substantiel des ventes l'année dernière, les immatriculations de camions au GNL ont plus que triplé en janvier 2019 (131 contre 41) par rapport au même mois en 2018, tandis qu'en février 62 nouvelles immatriculations ont été enregistrées (+47, 6%) par rapport à un marché global toujours en recul (-12,1%) pour les poids lourds.

À ce jour, plus de 1 500 véhicules lourds alimentés au GNL sont en circulation dans tout le pays.

Tableau 11: Immatriculations de camions avec Ptt> 3,5 tonnes. Par type d'alimentation

Alimentazione	Gen-Ott 2018	Gen-Ott 2017	Var %18/17
BENZINA	8	2	300,0
ELETTRICO	3	9	-66,7
GASOLIO	20.395	18.866	8,1
IBRIDO GASOLIO/ELETTRICO	108	46	134,8
<b>GNL</b>	<b>600</b>	<b>287</b>	<b>109,1</b>
CNG	237	166	42,8
<b>TOTALE</b>	<b>21.351</b>	<b>19.376</b>	<b>10,2</b>

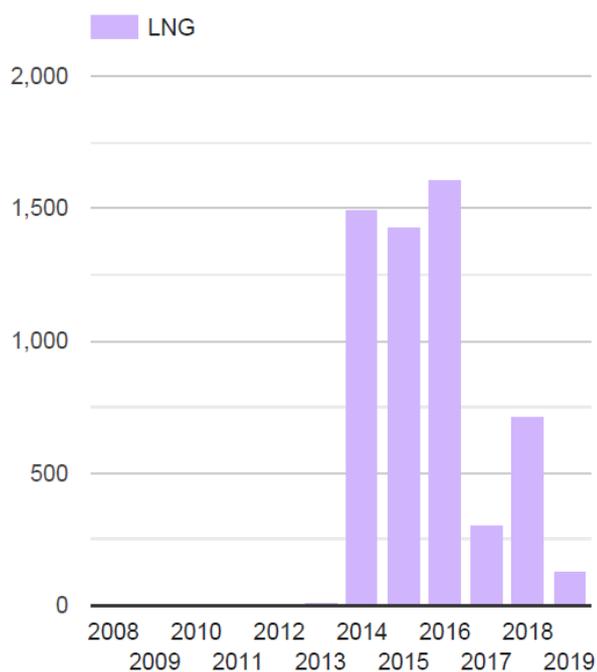
Source: Federmetano su dati ANFIA

Parmi les expériences d'opérateurs et de propriétaires de flottes qui ont récemment converti une partie de leurs flottes en véhicules GNL, on peut citer:

- Arcese Trasporti qui, suite à un accord avec IVECO, à partir d'avril 2019, introduira dans sa flotte 4 nouveaux véhicules Stralis NP 460 FP Low Tractor alimentés au gaz naturel liquéfié;
- Le Groupe Sanpellegrino, qui depuis janvier 2019 utilise une nouvelle flotte composée de véhicules 100% GNL pour le transport de l'eau minérale S.Pellegrino de l'usine de Ruspino au hub de distribution de Madone. Le nombre total de véhicules GNL utilisés est de 50 unités.
- Les opérateurs de transport de la province autonome de Bolzano-Alto Adige (quatre sociétés de transport différentes) qui ont reçu en février 2019 16 nouveaux tracteurs IVECO LNG;
- cinq livraisons pour un total de 42 New Stralis NP 460 CV à des entreprises de transport du sud de l'Italie en juillet 2018.

Au niveau européen, les dernières données (2019) de l'Observatoire européen des carburants alternatifs dénombrent plus de 5000 immatriculations de véhicules lourds alimentés au GNL en service dans l'UE.

*Figure 19: tendance des immatriculations de camions GNL en Europe*



Source: *European Alternative Fuels Observatory (marzo 2019)*

## 2.2.2 LA DEMANDE DU GNL POUR LE TPL

Récemment, la société Tper SpA (Emilia-Romagna Passenger Transport) a définitivement approuvé la fourniture de quarante-six nouveaux bus au GNL par résolution du conseil d'administration (appels d'offres lancés entre 2016 et 2017).

Transport de passagers Émilie-Romagne est la société contrôlée par la région d'Émilie-Romagne (avec 46%) et détenue par d'autres municipalités de la région responsables de l'exécution du service de transport public local, avec plus de 1 200 véhicules.

Tper est la première entreprise de transports publics italienne à s'équiper d'une flotte de bus GNL. Les véhicules alimentés au GNL sont une nouveauté absolue dans le domaine du transport urbain et interurbain durable.

L'approvisionnement sera obtenu à travers deux lots différents:

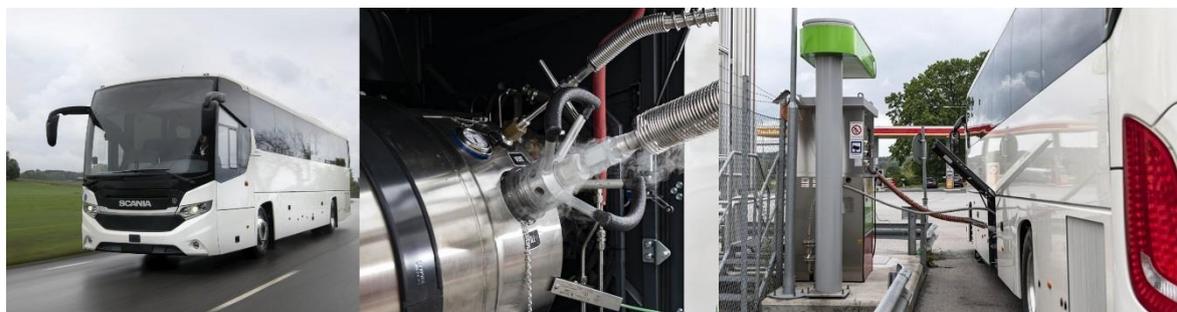
- 15 nouveaux modèles de véhicules Interlink Ld Lng fournis par SCANIA pour l'exploitation interurbaine;
- 31 véhicules neufs fournis par Industria Italiana Autobus de la gamme Citymood en version GNL à vocation métropolitaine;

L'approvisionnement global impliquera un investissement de 11,5 millions d'euros (environ 250 000 euros par unité). Le premier lot de bus interurbains devrait être livré par SCANIA dans l'année en cours, tandis que les véhicules Citymood devraient être livrés par l'IIA au printemps 2020.

Les bus au GNL ont une autonomie déclarée d'environ 1 000 kilomètres et peuvent également être alimentés en biogaz liquéfié. La grande autonomie de déplacement rend ces véhicules particulièrement adaptés à une utilisation sur des itinéraires hors de la zone urbaine ou pour de longs trajets.

Pour développer le projet, l'entreprise s'est dotée d'une station de ravitaillement spéciale C\_LNG dans son entrepôt situé en rue Ferrarese, construite avec un investissement d'environ 1,6 million d'euros.

*Figure 20: Scania Interlink Medium Decker LNG fuelled,*



Source: SCANIA

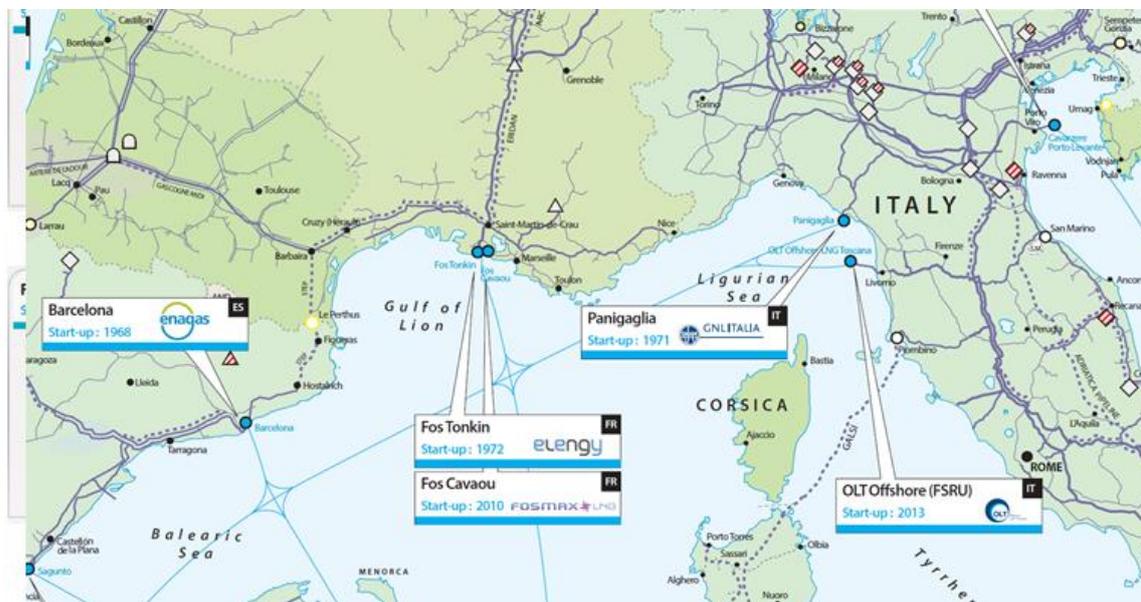
### 3. ANALYSE DE L'OFFRE DANS LE CONTEXTE TERRITORIAL DE RÉFÉRENCE

Ce chapitre propose une analyse des dépôts satellites pour le GNL et les services à petite échelle dans la région (ouest de la Méditerranée) et se concentre sur la région de Barcelone à Livourne:

Les caractéristiques des systèmes suivants sont résumées ci-dessous:

- Terminaux d'importation avec des services à petite échelle actifs en Méditerranée occidentale (Marseille et Barcelone)
- Usines à petite échelle en construction et autorisées en Italie, avec un accent sur l'analyse approfondie de:
  - Le terminal de Livourne
  - Le terminal d'Oristano
  - Les terminaux de la côte adriatique de Ravenne et de Venise
- Les terminaux de regazéification dans le bassin Tyrrhénien-Ligure

Figure 21: Contexte de référence pour l'offre de services GNL à petite échelle dans la région tyrrhénienne-ligure



Barcelona		SPAIN		enagas	
Start-up: 1968					
ADDITIONAL SERVICES	STATUS	MIN. SHIP SIZE	CAPACITY (LNG)		
RELOADING LARGE SCALE	YES	2,000 m <sup>3</sup> LNG	4,000 m <sup>3</sup> /h		
TRANSHIPMENT					
RELOADING SMALL SCALE	*by 2018	1,200 m <sup>3</sup> LNG	600 m <sup>3</sup> /h		
TRUCK LOADING	YES		3 x 91 m <sup>3</sup> /h		
RAIL LOADING			under study		
(*) smaller vessels under study					

Fos Tonkin		FRANCE		elengy	
Start-up: 1972					
ADDITIONAL SERVICES	STATUS	MIN. SHIP SIZE	CAPACITY (LNG)		
RELOADING LARGE SCALE	YES	7,500 m <sup>3</sup> LNG	1,000 m <sup>3</sup> /h		
TRANSHIPMENT	NO				
RELOADING SMALL SCALE	YES	7,500 m <sup>3</sup> LNG	1,000 m <sup>3</sup> /h		
	future	5,000 m <sup>3</sup> LNG			
TRUCK LOADING	YES		1 x 100 m <sup>3</sup> /h		
	future		3 x 100 m <sup>3</sup> /h		
RAIL LOADING			under study		

Fos Cavaou		FRANCE		FOSMAX LNG	
Start-up: 2010					
ADDITIONAL SERVICES	STATUS	MIN. SHIP SIZE	CAPACITY (LNG)		
RELOADING LARGE SCALE	YES	15,000 m <sup>3</sup> LNG	4,000 m <sup>3</sup> /h		
TRANSHIPMENT	YES	15,000 m <sup>3</sup> LNG	4,500 m <sup>3</sup> /h		
RELOADING SMALL SCALE	YES	15,000 m <sup>3</sup> LNG	4,000 m <sup>3</sup> /h		
	by 2019	5,000 m <sup>3</sup> LNG			
TRUCK LOADING	by 2019		2 x 100 m <sup>3</sup> /h		
RAIL LOADING	NO				

Source: GIE Europe

### 3.1.1 TERMINAUX D'IMPORTATION AVEC DES SERVICES À PETITE ÉCHELLE ACTIFS EN MÉDITERRANÉE OCCIDENTALE

#### LE TERMINAL MARSEILLE-FOS ET LES SERVICES GNL À PETITE ÉCHELLE D'ELENGY

Deux usines d'importation et de regazéification différentes sont en service à Marseille-Fos-sur-Mer: Fos Tonkin et Fos Cavaou. Elengy exploite les deux (en plus de celle de Montoir-de-Bretagne sur la côte atlantique), mais si Fos Tonkin est détenue à 100% par Elengy, Fos Cavaou est détenue par Fosmax LNG, une filiale d'Elengy, son principal actionnaire avec Total.

A titre d'exemple concernant le dimensionnement et l'exploitation des terminaux d'Elengy, les principales caractéristiques du terminal de Fos Cavaou, qui est un point d'entrée pour le GNL qui vise à devenir le principal HUB du marché français et parmi les premiers en Europe, sont résumé ci-dessous:

- extension sur une superficie de 80 hectares;
- capacité de regazéification de 8,25 milliards de m<sup>3</sup> par an;
- capacité de stockage combinée de 330 000 m<sup>3</sup> de GNL avec trois cuves de 110 000 m<sup>3</sup>;
- capacité minimale / maximale admissible des méthaniers: 15 000/270 000 m<sup>3</sup>;
- profondeur minimale: 15 m.

Fosmax LNG examine actuellement des options pour augmenter sa capacité opérationnelle afin de répondre à la demande potentielle des clients en 2020 et de contribuer plus efficacement à la sécurité d'approvisionnement en gaz naturel en France et en Europe. Cela nécessiterait la construction d'un ou deux réservoirs de stockage supplémentaires, doublant la capacité d'émission de l'installation à 16,5 Gm<sup>3</sup> / an.

Concernant les services à petite échelle actuels et futurs, suite à la croissance rapide du marché du GNL à petite échelle, Elengy a déjà développé un service de chargement de citernes et de conteneurs ISO dans ses terminaux.



- Le service est disponible sur réservation et le client doit acheter la cargaison de GNL auprès de l'un des fournisseurs avant la date de chargement.
- Elengy est responsable du contrôle et de l'approbation des remorques avant qu'elles ne soient remplies pour la première fois.
- Jusqu'à 4 camions-citernes peuvent être chargés simultanément avec des tubes cryogéniques flexibles.

Fosmax LNG prévoit également de moderniser le service de ravitaillement des camions-citerne en augmentant le nombre de bornes de recharge à Montoir et Fos.

En ce qui concerne le développement du marché des services à petite échelle pour le transport routier, il faut souligner qu'actuellement, en plus d'être le fournisseur de Total Marine Fuels Global LNG et de la plateforme de GNL marin et fluvial, Marseille-Fos est le principal point de ravitaillement en GNL italien par camion-citerne.

Côté mer, l'usine de Fos Tonkin propose déjà des services de chargement de barges jusqu'à 7500m<sup>3</sup>. D'ici 2021, Elengy prévoit d'étendre les activités de soutage du terminal en assurant la fourniture de GNL à au moins 100 unités. Fosmax Lng a alors lancé un projet de modification du quai qui permettra au terminal de Fos Cavaou d'accueillir des méthaniers d'une capacité inférieure à 20000 mètres cubes qui, après s'être approvisionnés à Fos Cavaou, pourront réaliser leurs opérations de soutage de GNL en le port de Marseille-Fos et sur d'autres sites de la Méditerranée en fournissant des porte-conteneurs, des navires de croisière ou des ferries au GNL.

Au total, un investissement d'environ 3 millions d'euros est prévu, financé à 30% par l'Union européenne, ce qui permettra les évolutions suivantes:

- l'adaptation des bras de chargement pour permettre la connexion de petits navires;
- de nouveaux systèmes d'amarrage à quai pour accueillir les navires de 100 mètres ou plus de longueur;
- des dispositifs d'embarquement modifiés pour tenir compte de la hauteur du pont inférieur des petits méthaniers;
- l'installation d'une vanne de régulation sur un deuxième bras de chargement pour la sécurité des opérations de chargement;
- L'achat de bras de chargement de réserve afin d'assurer la continuité de service pendant la phase de maintenance même en cas de dysfonctionnement / pannes.

Le terminal, qui devrait être achevé d'ici juin 2019, permettra l'approvisionnement en toute sécurité d'environ 50 petits pétroliers par an (environ un par semaine).

Ce nouveau service renforcera le hub GNL de Fos Cavaou, qui peut accueillir le déchargement de très grands méthaniers (type Q-Max) jusqu'à 265 000 mètres cubes de capacité.

Le service de rechargement des barges a lieu avec une vitesse de chargement de 4 000 m<sup>3</sup> par heure, et permet la réalisation d'un cycle de recharge standard d'environ 48 heures.

Comme le souligne le tableau ci-dessous, les tarifs appliqués à l'usine de Marseille Fos pour les services à petite échelle prévoient une différenciation par catégorie et volume.

*Tableau 12: tarifs des services GNL à petite échelle appliqués au terminal de Fos Marseille*

<b>Service à petite échelle</b>	<b>volumes (m<sup>3</sup>)</b>	<b>€/m<sup>3</sup></b>
<i>Chargement des barges</i>	15.000	6,67 €
	7.500	10,00 €
	4.000	12,5 €

Sur la base d'une résolution adoptée par la Commission de régulation de l'énergie (CRE) le 29 juin 2017 relative aux tarifs d'accès des micro méthaniers du port de Fos Cavou, le prix d'accès au service de recharge GNL est en fait égal au plus entre le forfait de 50 000 euros et le prix calculé sur la base d'un tarif de 1,5 € / MWh pour la quantité de charge selon la formule  $P = \text{Max} [50\ 000 \text{ euros}; \text{TQRMM} \times \text{QRMM}]$ .

Le tarif a été approuvé sur la base d'une prévision de 40 chargements par an fournie par Elengy une fois le service démarré, dans la période tarifaire 2019-2023 fixée par la CRE pour le service de rechargement à petite échelle.

---

## LE TERMINAL DE BARCELONE ET LES SERVICES GNL À PETITE ÉCHELLE OFFERTS PAR LES USINES D'ENAGÁS

L'usine de Barcelone a été la première usine de GNL mise en service en Espagne. En activité depuis 1969, elle est située à l'intérieur du port du même nom, sur la côte méditerranéenne, ce qui lui permet de recevoir du gaz de Libye, d'Algérie, d'Oman et d'Égypte.

Les principales caractéristiques du terminal de Barcelone comprennent:

- 8 réservoirs;
- Capacité de stockage de 840 000 m<sup>3</sup> de GNL;
- Capacité de mise en réseau de 1 950 000 m<sup>3</sup> (n) / h;
- min max. capacité de charge de 30 000/266 000 m<sup>3</sup> de GNL;

Enagás propose des services à petite échelle dans chacune de ses 5 usines de regazéification en Espagne (principalement Barcelone, mais aussi Carthagène, Huelva, Bilbao et Sagunto) en complément de ses services traditionnels à grande échelle.

Ces services supplémentaires comprennent:

- Chargement de pétroliers pour le transport vers des systèmes satellites

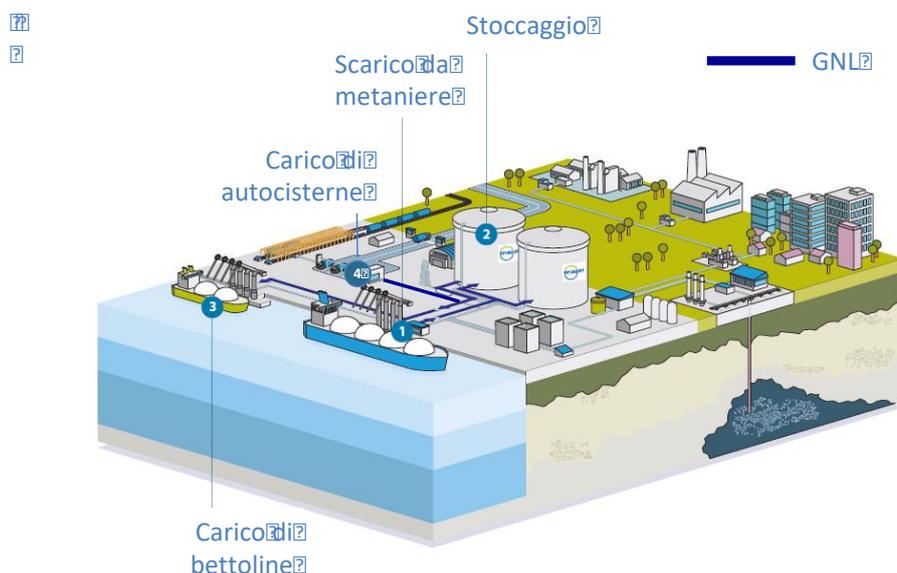
Actif dans les cinq usines susmentionnées (environ 50 camions / jour pour l'usine de Barcelone), ce qui fait d'Enagás le principal fournisseur de ce type de service en Europe;

- Chargement et déchargement de petits pétroliers

Les usines de Barcelone, Carthagène et Huelva sont équipées pour le chargement et le déchargement de barges, avec des capacités allant de 1000 m<sup>3</sup> à 80000 m<sup>3</sup> de GNL à Barcelone, de 1000 m<sup>3</sup> à 40000 m<sup>3</sup> de GNL à Carthagène et de 1000 m<sup>3</sup> à Huelva .

Les usines de Barcelone et de Carthagène disposent également d'un quai spécifiquement réservé aux services à petite échelle aux services à petite échelle, permettant ainsi une compatibilité totale avec les services de regazéification à grande échelle, même en cas d'opérations simultanées.

*Figure 22: Schéma de fonctionnement du terminal GNL d'importation ENAGAS*



Source: remaniement de source ENAGAS

Enfin, il convient de noter que tous les terminaux Enagás du pays sont équipés pour offrir des services logistiques qui ajoutent de la valeur à la chaîne d'approvisionnement en GNL à l'intérieur et à l'extérieur des frontières nationales.

Comme souligné dans le tableau suivant, les prix appliqués par Enagás par rapport aux services Small Scale pour chaque transaction individuelle prévoient une différenciation en volume, offrant des avantages significatifs à partir de 1000m<sup>3</sup> (volume pour lequel le prix unitaire est presque divisé par deux par rapport au prix demandé jusqu'à 500m<sup>3</sup>).

*Tableau 13: tarifs pour les services GNL à petite échelle appliqués dans le terminal de Barcelone (ENAGAS)*

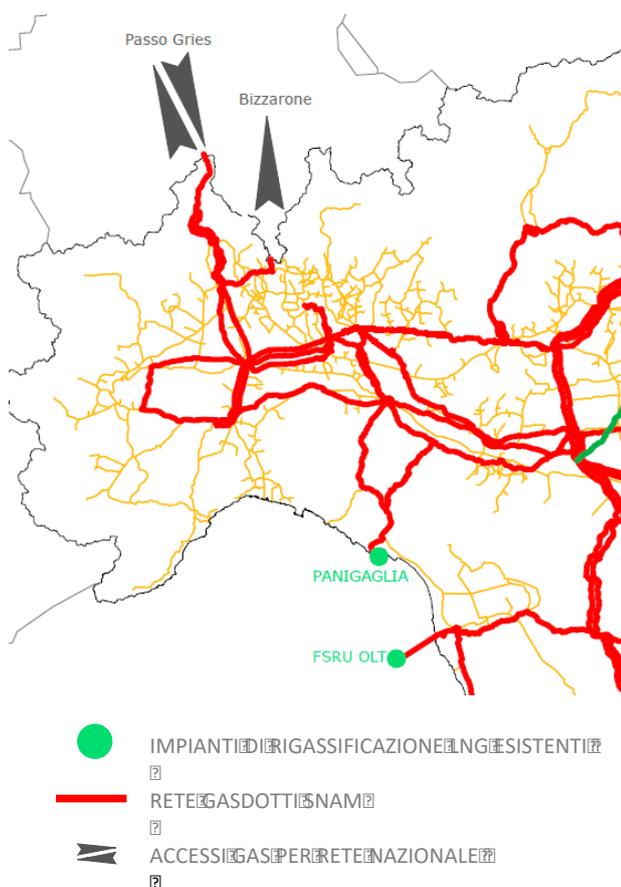
m <sup>3</sup> LNG	Gwh	euro	euro/ m <sup>3</sup>	euro	euro/ m <sup>3</sup>
<b>500</b>	3,41	€ 89.755	179,5	€ 881.557	176,3
<b>1.000</b>	6,82	€ 91.531	91,5	€ 883.333	88,3
<b>3.000</b>	20,46	€ 98.638	32,9	€ 890.440	29,7
<b>5.000</b>	34,1	€ 105.744	21,1	€ 897.546	18,0
<b>7.500</b>	51,15	€ 114.627	15,3	€ 906.429	12,1
<b>9.000</b>	61,38	€ 119.957	13,3	€ 911.759	10,1
<b>MIN</b>		€ 176.841			
<b>10.000</b>	68,2	€ 283.438	28,3	€ 1.875.007	18,8
<b>15.000</b>	102,3	€ 336.736	22,4	€ 1.928.305	12,9
<b>20.000</b>	136,4	€ 390.034	19,5	€ 1.981.603	9,9
<b>30.000</b>	204,6	€ 496.631	16,6	€ 2.088.200	7,0

En ce qui concerne les tarifs appliqués au ravitaillement des pétroliers, généralement sur réservation, le prix moyen de chaque opération est d'environ 942 euros, mais des tarifs spéciaux sont prévus en cas de stipulation de contrats d'approvisionnement sur une base annuelle.

### 3.1.2 3.1.2 LES TERMINAUX DE REGASIFICATION DANS LE BASSIN TIRRENO-LIGURIEN

Bien qu'il n'y ait actuellement aucun système de GNL à petite échelle actif dans la zone examinée par cette étude, il est important de considérer les caractéristiques actuelles et les services supplémentaires que les terminaux de regazéification d'OLT (Livourne) et de SNAM / GNL Italia pourraient fournir à l'avenir. ( Panigaglia-La Spezia), actuellement utilisé pour la réception, le stockage et la mise en réseau du gaz naturel à la fois pour l'approvisionnement énergétique du système national et pour l'exportation.

Figure 23: Le réseau de la distribution du gaz naturel



Source: SNAM

Tableau 14: les terminaux de regazéification de la région tyrrhénienne-ligure

AdSP de référence	Terminal	Société	Lieu	Capacité max (m <sup>3</sup> )	Etat SSLNG
<b>AdSP del Mar Ligure Orientale</b>	Panigaglia	GNL Italia (Gruppo Snam)	Panigaglia (La Spezia)	4 Mld Smc	Etude de faisabilité terminée dans 2017
<b>AdSP del Mar Tirreno Settentrionale</b>	FSRU Toscana	OLT Offshore LNG Toscana	Livorno offshore	3,75 Mld Smc	Etude de faisabilité réalisée en 2015. Conception détaillée achevée en 2018. Début des autorisations en 2019

Source: Assocostieri 2019

En ce qui concerne l'état de mise à niveau des usines (comme mieux décrit dans les pages suivantes), il est à noter qu'une étude de faisabilité a été réalisée pour l'usine de Panigaglia en 2017, tandis que les études d'ingénierie par FRSU ont été finalisées pour la FRSU Toscane une partie de l'OLT qui a initié les procédures d'autorisation requises.

#### PLANTE OLT DE LIVOURNE

Commercialement active depuis 2013 au large de Livourne, l'usine OLT Offshore LNG Toscana de FSRU (Floating Storage Regasification Unit) est née de la conversion d'un méthanier - le «Golar Frost» - en première usine flottante de regazéification au monde amarrée en permanence offshore.

Figure 24: Plante FSRU OLT Offshore LNG Toscana

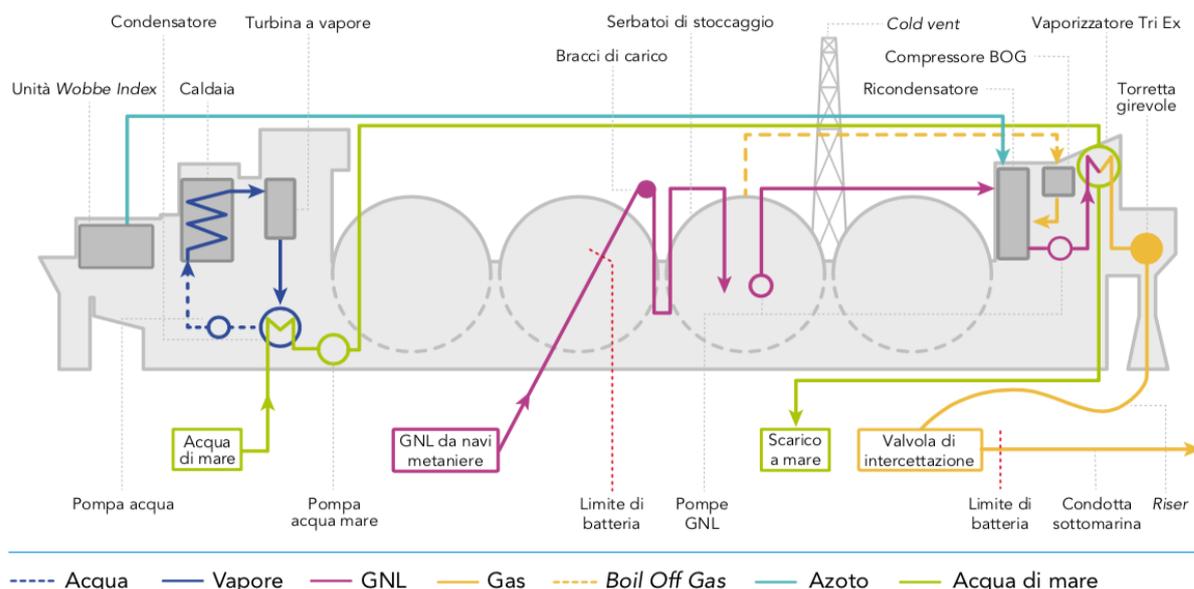


Source: OLT Offshore

L'activité exercée par le terminal consiste en le stockage et la regazéification de gaz naturel liquéfié. Le gaz naturel est donc reçu à l'état liquide, par des pétroliers, stocké dans des réservoirs cryogéniques à pression quasi ambiante et à une température de  $-160^{\circ}\text{C}$ , regazéifié et acheminé vers le pipeline à terre par le pipeline sous-marin. Les activités réalisées et les principales usines de traitement peuvent être résumées dans les phases suivantes:

- le débarquement et l'amarrage des méthaniers à l'aide de remorqueurs appropriés;
- transfert depuis les pétroliers et chargement de GNL (gaz naturel liquéfié) à bord du Terminal grâce à l'utilisation des 4 bras de chargement;
- stockage dans les 4 cuves MOSS (volume unitaire d'environ  $34\,275\text{ m}^3$ , et globalement d'environ  $137\,100\text{ m}^3$  bruts) et pompage de GNL vers l'usine de regazéification;
- récupération du BOG (Boil off gas: vapeurs produites par les réservoirs de stockage) par le transport vers un collecteur commun à tous les réservoirs puis acheminé vers la cuve d'alimentation, vers les chaudières ou vers le système d'évacuation;
- la vaporisation du GNL au moyen de 3 vaporisateurs utilisant l'eau de mer comme source de chaleur et le propane comme fluide de chauffage intermédiaire entre l'eau de mer et le GNL;
- le transport du gaz naturel vers le pipeline;
- désamarrage des méthaniers.

Figure 25: Diagramme de flux de processus du terminal "FSRU Toscana"



Source: OLT annual report 2018

En vue de fournir des services supplémentaires de soutage à petite échelle, le terminal pourrait être adéquat pour prévoir la possibilité de charger du GNL sur de petits méthaniers (dits "barges"), d'une longueur comprise entre 60 et 110 mètres, correspondant actuellement à un capacité de charge comprise entre 1 000 m<sup>3</sup> et 7 500 m<sup>3</sup> et une vitesse de chargement comprise entre 250 m<sup>3</sup> / h et 900 m<sup>3</sup> / h.

Les évolutions nécessaires pour assurer ce nouveau service concerneraient le côté gauche de l'usine, où les principaux éléments d'immatriculation et de déchargement sont déjà présents, sont de type marginal (quantifiables de l'ordre de 5 millions d'euros) et pourraient être réalisés en peu de temps une fois les autorisations nécessaires obtenues. En mars 2019, la demande d'EIE a été soumise au ministère de l'Environnement, qui a ouvert la procédure de collecte des observations jusqu'en mai de la même année.

---

#### LA PLANTE SNAM/GNL ITALIA A PANIGAGLIA (LA SPEZIA)

L'usine est située à Fezzano di Porto Venere (La Spezia) et est la première installation de réception et de regazéification de GNL en Italie.

*Figure 26: le terminal de regazéification GNL Italia à Panigaglia*



Source: GNL Italia

Le terminal occupe une superficie d'environ 45 000 mètres carrés et se compose de deux réservoirs de stockage de 50 000 mètres cubes chacun, d'usines de vaporisation et d'un quai pour les méthaniers de 25 000 à 75 000 m<sup>3</sup>.

Les processus de base de l'usine pour la regazéification et la mise en réseau du gaz naturel sont similaires à ceux décrits ci-dessus.

Le terminal pourrait être modernisé pour des services à petite échelle suite à l'évolution du marché du GNL.

En particulier, en ce qui concerne le service de regazéification et en vue d'une future adaptation, le terminal pourrait fournir les services complémentaires suivants:

- Service de chargement de GNL pour barges et / ou barges d'une capacité comprise entre 500 et 30 000 m<sup>3</sup> pour fournir du GNL à d'autres navires (en mode bateau-bateau);
- Chargement de citernes, de petits réservoirs (avec des capacités comprises entre 20 et 50 m<sup>3</sup>) ou des conteneurs ISO (avec des capacités comprises entre 20 et 40 m<sup>3</sup>), pour la fourniture de distributeurs de voirie ou de petits dépôts de stockage;
- Ravitaillement direct des véhicules routiers / portuaires alimentés au GNL si un distributeur connecté directement au terminal est créé.

Les adaptations du terminal existant concerneraient principalement les modifications des réservoirs de stockage et des lignes de chargement / déchargement de GNL, les adaptations du quai et des bras de chargement, le renforcement des systèmes de récupération du BOG.

---

### 3.1.3 PLANTES À PETITE ÉCHELLE EN CONSTRUCTION ET AUTORISATION EN ITALIE

L'Italie se concentre fortement sur le secteur à petite échelle, avec des investissements en cours, déclarés par les entreprises et calculés par REF-E, qui sont passés de 300 millions en 2017 à environ 1,8 milliard en 2019 pour financer les dépôts des usines de regazéification et côtières Stations-service GNL; Camions et citernes de GNL; la différence de coût entre les navires traditionnels et les navires GNL construits dans les chantiers navals italiens; mais aussi la mini-liquéfaction et la production de bio-GNL.

A ce jour, les projets GNL en construction ou en autorisation sont listés ci-dessous, en mettant en évidence les promoteurs des projets respectifs et la capacité de stockage maximale.

Pour nos besoins, il est utile de donner un aperçu des projets appartenant à la catégorie «Small Scale», c'est-à-dire qui prévoient la gestion du GNL directement sous forme liquide sans les procédés typiques de regazéification opérés dans des terminaux dédiés à l'injection ultérieure de le produit gazeux dans le réseau de transport.

Parmi ceux-ci sont illustrés ci-dessous ceux qui, en raison de la capacité de stockage et de l'emplacement, pourraient contribuer à modifier la structure du système à petite échelle pour le GNL dans la zone de référence.

*Tableau 15: les terminalaux à petite échelle en cours de réalisation en Italie*

<i>Lieu</i>	<i>Société</i>	<i>Soutage (m<sup>3</sup>)</i>
<i>Porto Marghera</i>	Venice LNG SpA	32.000
<i>Ravenna</i>	Depositi Italiani GNL (Newco: PIR-Petrolifera Italo Rumena/Edison)	20.000
<i>Livorno</i>	Livorno LNG Terminal SpA (Newco: Costiero Gas Livorno SpA/Neri SpA /SIGL-Vulcangas)	9.000
<i>Oristano</i>	Higas Srl	9.000
<i>Oristano</i>	IVI Petrolifera S.p.A.	9.000
<i>Oristano</i>	Edison S.p.A.	10.000
<i>Cagliari</i>	ISGAS ENERGIT Multiutilites S.p.A.	22.000
<i>Porto Torres</i>	Consorzio Industriale provinciale Sassari	10.000

## LE DÉPÔT CÔTIER POUR LES SERVICES À PETITE ÉCHELLE À LIVOURNE

La construction du dépôt de GNL à Livourne est actuellement en phase d'autorisation qui, compte tenu de sa position géographique, pourrait devenir un hub potentiel pour le stockage et la distribution de GNL dans la zone.

L'usine sera construite dans la zone industrielle du port par le terminal méthanier newco Livorno, détenu conjointement par Costiero Gas Livorno, une joint-venture entre Enifuel et Liquigas (une société active dans la distribution de GPL), et Neri Vulcangas Investimenti. (Joint-venture entre Neri Depositi Costieri et la société italienne de gaz liquide - Vulcangas).

Une fois achevée, l'usine permettra la réception et le stockage du GNL, fourni par des pétroliers, pour sa distribution ultérieure par pétroliers et petits navires (barges), pour le ravitaillement des stations-service et des navires en transit dans le port de Livourne.

Les principales caractéristiques du système peuvent être résumées comme suit:

- 6 réservoirs cryogéniques horizontaux basse pression (et équipements associés) de 1 500 m<sup>3</sup> chacun pour une capacité totale de 9 000 m<sup>3</sup>, capables de garantir un turnaround annuel de 170 000 m<sup>3</sup> / an de GNL;
- 1 mouillage dédié aux barges de petite et moyenne taille, aussi bien lors du chargement que du déchargement;
- 3 quais de chargement dédiés aux camions-citernes de GNL;

- 3 quais de chargement dédiés aux citernes modulaires ferroviaires telles que les conteneurs ISO;
- Système de gestion BOG.

L'investissement total estimé s'élève à environ 50 millions d'euros et le projet a déjà été considéré comme cofinancable par la Commission européenne dans le cadre du programme CEF.

### LE DÉPÔT CÔTIER POUR LES SERVICES À PETITE ÉCHELLE À SANTA GIUSTA (ORISTANO)

- L'usine destinée à être construite dans la zone industrielle de Santa Giusta, près d'Oristano, a été la première en Italie à obtenir toutes les autorisations pour le démarrage des travaux.
- Le projet comprend la construction d'un terminal méthanier multimodal adapté à la réception, au stockage et à la distribution de GNL principalement pour le transport maritime et routier, mais aussi pour les utilisateurs civils et industriels de la région Sardaigne.
- Les principales caractéristiques du système peuvent être résumées comme suit:
  - Taille de l'usine (occupation du sol): environ 28 800 m<sup>2</sup>
  - 6 réservoirs cryogéniques de 1 500 m<sup>3</sup> chacun pour une capacité totale de stockage de 9 000 m<sup>3</sup> de GNL, qui permettront la manutention, une fois pleinement opérationnels, de 120 000 t de GNL / an
  - Un quai dédié au déchargement et au chargement du GNL;
  - une plate-forme de chargement pour faire le plein de deux camions-citernes en même temps
  - 1 système de gestion BOG.

*Figure 27: le terminal de Oristano*



Source: Gas&Heat

Du côté de la rue, le terminal pourra charger deux camions-citernes en même temps, ainsi que distribuer du GNL vers une variété d'utilisateurs finaux. Le terminal permettra également l'approvisionnement en GNL des nœuds centraux de l'île (par exemple Cagliari) et en même temps potentiellement desservira l'Italie centrale et méridionale, améliorant ainsi la durabilité du secteur des transports à plus grande échelle.

Enfin, le terminal pourra charger du GNL sur des barges, pour la fourniture de navires alimentés au GNL et d'autres installations de stockage et de distribution en Méditerranée occidentale.

Les données de processus suivantes sont importantes pour la caractérisation de l'installation:

- Capacité de chargement maximale du terminal: 600 m<sup>3</sup> / h
- Temps de chargement du pétrolier: 1h
- Temps de chargement du naviree soute: 12h
- Capacité de chargement maximale du naviree de soutage: 240 m<sup>3</sup> / h
- Traitement des volumes annuels à pleine capacité: 120 000 t / an
- Débit maximal de distribution de GNL: 750 m<sup>3</sup> / jour

Du point de vue des délais de construction, le 13 décembre 2017, les travaux de construction de l'usine ont démarré et la Société procède en parallèle avec la construction d'une barge GNL de 7500 m<sup>3</sup> (construite par Avenir), dont la livraison est prévue à la mi- 2020, date à laquelle la construction de l'entrepôt sera également achevée, pour laquelle un investissement d'environ 32 millions d'euros est estimé.

---

## I PETITS TERMINAUX DE GNL SUR LA CÔTE ADRIATIQUE

Bien qu'elles ne soient pas directement situées dans la zone de référence, il est important de considérer les deux usines en phase d'autorisation de Ravenne et de Venise, principalement en raison de leur grande capacité de stockage future (20-32 000 m<sup>3</sup>).

Du point de vue de l'approvisionnement des potentiels navires alimentés au GNL dans le bassin tyrrhénien, les futures usines de l'arc adriatique ne représentent pas des concurrents significatifs pour les gros volumes. Cependant, on pense qu'ils peuvent rester compétitifs pour l'approvisionnement en terres (par route par camions-citernes, mais aussi par chemin de fer au moyen de conteneurs ISO).

### **Le dépôt côtier de GNL de Ravenne**

En ce qui concerne l'usine de Ravenne, l'usine en cours d'autorisation est proposée par la société Depositi Italiani GNL (créée en 2018 par PIR- Petrolifera Italo Rumena et Edison) et devrait être construite dans la zone industrielle du port de Ravenne.

Le terminal sera utilisé pour exécuter les fonctions suivantes:

- déchargement depuis des méthaniers d'une capacité typiquement comprise entre 7 500 m<sup>3</sup> et 27 500 m<sup>3</sup>, avec possibilité de déchargement partiel jusqu'à couverture de la capacité de l'usine (20 000 m<sup>3</sup>), via des bras de déchargement;

- stockage du GNL à température cryogénique, en l'absence d'opérations de chargement et de déchargement;
- chargement de camions-citernes destinés à alimenter les stations de ravitaillement pour le transport (capacité utile d'environ 40 m3)
- et barges (capacité de chargement entre 1 000 et 4 000 m3);
- re-liquéfaction du Boil-Off Gas (BOG) généré pendant les phases d'exploitation de l'usine.

Les opérations de chargement des pétroliers peuvent être effectuées simultanément avec les opérations de déchargement des méthaniers ou de chargement de barges. En revanche, il ne sera pas possible de procéder simultanément au déchargement des méthaniers ou d'autres types de navires et au chargement des barges.

*Figure 28: le Rendering du depot Cotier GNL e des de chaergement de Ravenna*



*Source: Depositi Italiani GNL, procédé EIE*

L'usine sera construite en une seule phase et l'achèvement des travaux est prévu pour septembre 2021. Les caractéristiques opérationnelles et de processus de l'usine peuvent être résumées comme suit:

- Taille de l'usine (occupation du sol): environ 23000 m2
- Capacité totale de stockage de l'usine: 20000 m3
- Manutention totale de GNL: 1000000 m3 par an
- Capacité de chargement maximale du terminal: 2000 m3 / h
- Capacité de chargement maximale du navire de soutage: 500 m3 / h
- Capacité de chargement maximale des citernes: 60 m3 / h
- Nombre d'abris pour le chargement des camions-citernes: 5 + 1

### Le dépôt côtier de GNL à Venise

Le projet de construction d'un gisement de GNL côtier à Porto Marghera (Venise) est promu par Venice LNG, une joint-venture entre Decal et San Marco Gas.

La zone de stockage sera située à l'est du site de stockage de pétrole actuel de Decal et l'usine sera alimentée par des pétroliers de petite et moyenne taille (max 30000 m<sup>3</sup>) en transit depuis le canal industriel sud, tandis que la distribution sera garantie par des pétroliers. Et petits pétroliers (barges).

*Figure 29: le Rendering du depot GNL de Venise*



Source: Venice LNG

Les interventions prévues comprennent la mise en œuvre des principaux éléments suivants:

- Un seul réservoir de stockage d'une capacité de 32 000 qui garantira un turnaround annuel de 900 000 m<sup>3</sup> / an de GNL à pleine capacité;
- Une nouvelle infrastructure sur le quai existant DECAL1 pour permettre l'arrivée des méthaniers destinés à la fourniture de GNL au dépôt;
- Un système de transfert de GNL pour permettre le chargement de barges de 3 000 m<sup>3</sup> à un poste d'amarrage à l'est du quai DECAL1;
- 5 voies pour le chargement des camions-citernes;
- Systèmes de gestion des produits BOG.

Du point de vue du trafic maritime, on estime qu'environ 50 navires arrivent chaque année (en moyenne un par semaine), alors qu'en ce qui concerne les mouvements routiers, on estime qu'environ 48 pétroliers par jour peuvent être ravitaillés par l'usine.

L'investissement total estimé s'élève à environ 100 millions d'euros et le projet a déjà été considéré comme cofinancable par la Commission européenne dans le cadre du programme CEF.

Tableau 16: L'offre de service des Terminaux GNL dans la zone Ligure-Tyrrénienne

Country		France	France	Italy	Italy	Spain
Company		Elengy	Fosmax LNG	GNL Italia	OLT Offshore	Enagas
Facility		Fos Tonkin	Fos Cavaou	Panigaglia	LNG Toscana	Barcelona
<b>Basic Services</b>	Unloading	x	x	X	x	x
	Operational Storage	x	x	X	x	x
	Regasification & send-out	x	x	X	x	x
<b>Other Services</b>	Wobbe Index / GCV Correction	x	x	X	x	
	Odorisation	x	x			x
	Additional Storage		x			x
	Additional Send-Out		x			x
	Capacity pooling	x	x			
	LNG Inventory Transfer	x	x			x
	Reloading (large scale ship)		x			x
	Transshipment berth to berth					
	Transshipment ship to ship	under study	x			
	Reloading (small scale ship)	x	x		under approval	x
	Truck Loading	x	2019			x
	Rail loading	under study				under study
	Cooling down	x	x			x
Gassing up		x			x	
Nitrogen Inerting						
<b>Secondary Market</b>	Regasification Capacity	x	x			x
	Storage Capacity		x			
	Berthing / Unloading Rights	x	x			x
	Combination of Berthing, Storage and Regasification	x	x		x	

Source: GIE Europe 2019

Tableau 17: Spécifications des services

Country	France	France	Italy	Italy	Spain
Company	Elengy	Fosmax LNG	GNL Italia	OLT Offshore	Enagas
Facility	Fos Tonkin	Fos Cavaou	Panigaglia	LNG Toscana	Barcelona
<b>Reloading</b>	yes	yes	No	no	yes
min. ship size: m <sup>3</sup> LNG	7.500	15.000	Feasibility study completed; FID expected by the end of 2020	engineering studies completed, authorization ongoing	2.000
<i>comment</i>	<5 000 under study	5000 m <sup>3</sup> from 2019 (FID made)			3.500
Capacity: (LNG) m <sup>3</sup> /h	1.000	4.000			
<b>Transshipment</b>	no	yes	No	no	no
min. ship size: m <sup>3</sup> LNG	under study	15.000			
Capacity: (LNG) m <sup>3</sup> /h		4.500			
<b>Truck loading</b>	yes	no	No	no	yes
Capacity: (LNG) m <sup>3</sup> /h	1 x 100	-	Feasibility study completed; FID expected by the end of 2020		3 x 91
<i>comment</i>	3 x 100 under study	Under construction 2x100 in 2019			
<b>Rail loading</b>	no	no	No	no	no
<b>Comment</b>	Under study (railway available)				under study

Source: GIE Europe 2019

## 4. BUNKERING ET TRANSPORT DE GNL: SOLUTIONS TECHNOLOGIQUES DISPONIBLES ET EXEMPLES D'APPLICATION

Tra les éléments les plus importants à prendre en compte lors du soutage de gaz naturel liquéfié (GNL) sont les composants des systèmes d'alimentation en carburant, tant du point de vue technique que réglementaire. Il est particulièrement important que non seulement les normes technologiques capables de garantir la sécurité des opérations soient garanties, mais aussi que les normes et les exigences soient harmonisées.

Dans cette phase, en fait, des écarts potentiels dans la formation, l'incompatibilité des équipements et d'autres facteurs qui peuvent affecter considérablement la sécurité et endommager l'environnement avec des émissions de méthane peuvent apparaître. La réduction des risques pour la vie et la propriété et l'atténuation des rejets de gaz sont des facteurs clés pour rendre la chaîne de GNL dans les ports aussi linéaire et simple que possible.

En fonction de la combinaison des solutions aux problèmes susmentionnés, les instruments réglementaires à utiliser (au niveau national, régional ou international) sont différents.

L'identification des exigences potentiellement conflictuelles sera également pertinente pour élaborer des lignes directrices pour résoudre ces conflits, clarifier, optimiser et identifier les procédures appropriées.

Le tableau suivant montre également quelques "Modes Spéciaux" dans lesquels aucun transfert de carburant n'a lieu via l'interface (en S4 seul le transfert des unités de conteneurs a lieu et en S5 ou S6 le transfert n'est pas de GNL, mais d'électricité produite par GNL) . Les Directives EMSA considèrent également ces méthodes car même dans ces cas, il y a une substance dangereuse à proximité de l'unité navale qui est ravitaillée et doit donc être gérée non pas d'un point de vue technique, mais d'un point de «risque et sécurité» de vue.

En ce qui concerne les options de ravitaillement, il est possible de détailler comment les différentes options affectent les opérations de ravitaillement dans le port, quels aspects sont plus difficiles pour les autorités portuaires et dans quelles conditions elles pourraient affecter les plans de réglementation portuaire.

## 4.1 BUNKERING DU GNL: CLIN D'OEUIL

Le ravitaillement d'un navire en GNL peut se faire avec différentes méthodes en fonction de facteurs logistiques et opérationnels:

- Par camion-citerne (dit camion-navire - mode TTS);
- Par bateau (dit navire à navire - mode STS);
- Du dépôt côtier (dit terminal (port) au navire - mode PTS);
- Utilisation d'unités de conteneur ISO

Le tableau ci-dessous présente les méthodes de soutage les plus pertinentes pour les navires alimentés au GNL, en identifiant leurs capacités de stockage et le taux de transfert typique.

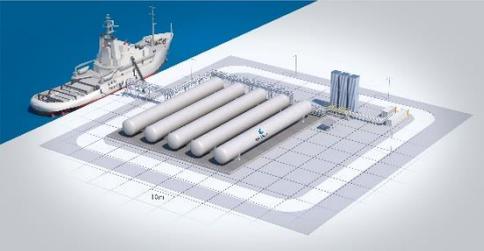
En fonction de la quantité de GNL nécessaire et des contraintes de temps de ravitaillement, il y aura différentes méthodes d'avitaillement plus adaptées aux besoins spécifiques, aux différents types de navires, aux différents profils d'exploitation et à la capacité de stockage de GNL à bord du navire. En général, les grands navires, qui utilisent potentiellement le GNL pour des voyages plus longs, auront besoin de volumes de ravitaillement plus élevés et donc d'un taux de distribution plus élevé. C'est le cas des porte-conteneurs de taille considérable qui doivent rester amarrés le plus court possible, nécessitant des volumes de carburant considérables. La méthode de ravitaillement doit donc être spécifique à ce type de besoin.

Type	Volumes GNL	Taux	Temps	Diamètre du tuyau	Mode préférable
<i>Unités de services nautiques, remorqueurs, patrouilles navales, bateaux de pêche</i>	50 m <sup>3</sup>	60 m <sup>3</sup> /h	45 min	2x2" or 1x3"	TTS
<i>Petits ferries Ro-Ro e Ro-Pax</i>	400 m <sup>3</sup>	400 m <sup>3</sup> /h	1 hr	2x4" or 1x6"	TTS/ STS
<i>Grands ferries Ro-Ro e Ro-Pax</i>	800 m <sup>3</sup>	400 m <sup>3</sup> /h	2 hr	2x4" or 1x6"	STS
<i>Petits navires cargo et container</i>	2,000 3,000 m <sup>3</sup>	1,000 m <sup>3</sup> /h	2 to 3 hr	2x8" or 1x12"	STS
<i>Grands cargo</i>	4,000 m <sup>3</sup>	1,000 m <sup>3</sup> /h	4 hr	2x8" or 1x12"	STS
<i>Grands methanières, navires vrac et container</i>	10,000 m <sup>3</sup>	2,500 m <sup>3</sup> /h	4 hr	2x10"	STS/ PTS

*Navires container, gazières et pétrolières XL*

20,000 m <sup>3</sup> 3	3,000 m <sup>3</sup> /h	7 hr	2x12"	STS/PTS
-------------------------	-------------------------	------	-------	---------

*Tableau 18: Mode de bunkering du GNL*

Mode de bunkering	Volumes (V) et Taux(Q)
<p><b>TRUCK-TO-SHIP (TTS)</b></p>  <p>Naviree de GNL connecté au naviree le long du quai, à l'aide d'un tuyau flexible, généralement assisté par une grue tournante en porte-à-faux pour la manutention des tuyaux</p>	<p>V ≈ 50-100m<sup>3</sup> Q ≈ 40- 60m<sup>3</sup>/h</p>
<p><b>SHIP-TO-SHIP (STS)</b></p>  <p>GNL livré au naviree par un autre naviree, barge ou barge, amarré le long du côté opposé au quai. Le tuyau de ravitaillement en GNL exploité par le naviree fournissant le GNL</p>	<p>V ≈ 100- 6500m<sup>3</sup> Q ≈ 500- 1000m<sup>3</sup>/h</p>
<p><b>TERMINAL (PORT)-TO-SHIP</b></p> 	<p>V ≈ 500- 20000m<sup>3</sup> Q ≈ 1000- 2000m<sup>3</sup>/h</p>

Mode de bunkering	Volumes (V) et Taux(Q)
Bunkering réalisé par une petite unité de stockage de GNL, une petite station de remplissage ou un terminal d'import / export	
<p><b>ISO CONTAINER-TO-SHIP</b></p>  <p>GNL livré au navire sur le quai par des unités standard de conteneurs ISO. Si le navire est équipé de connexions pour le GNL, les conteneurs ISO peuvent être chargés et le carburant peut être utilisé directement.</p>	<p> <math>V \approx 20,5\text{m}^3</math> (ISO 20 piedi)  <math>43,5\text{m}^3</math> (ISO 40 piedi)                     </p> <p> <math>Q \approx 40\text{m}^3/\text{h}</math> </p>

Pour chaque mode d'avitaillement, les aspects suivants doivent être pris en compte afin d'assurer la sécurité et le succès des opérations de ravitaillement:

- Analyse des risques et gestion de la sécurité, différentes selon la méthode de soutage choisie;
- Les autorisations des autorités compétentes, nécessaires pour les différentes opérations;
- Formation du personnel à terre et à bord.

Le soutage de GNL peut prendre différentes formes en termes de chaîne d'approvisionnement et de méthodes de ravitaillement, permettant de distinguer différents équipements, navires et infrastructures en fonction de la solution d'avitaillement considérée. Dans les paragraphes suivants, les solutions actuellement disponibles pour le soutage du GNL dans les méthodes de ravitaillement décrites ci-dessus sont analysées et proposées, mettant en évidence les unités et technologies actuellement utilisables, ainsi qu'une série d'exemples de déploiements récents, utiles pour considérer les différents degrés de maturité et faisabilité opérationnelle.

## 4.2 SOLUTIONS SHIP-TO-SHIP ET EXEMPLES D'APPLICATION

Comme précédemment prévu schématiquement, l'avitaillement de navire à navire (STS) est le transfert de GNL d'un navire ou d'une barge, avec du GNL comme cargaison, vers un autre navire pour l'utiliser comme carburant. STS offre une large gamme d'applications et les opérations de soutage peuvent être effectuées au port ou, alternativement, en mer.

Parmi les principaux avantages de ce type de transfert, mieux définis dans l'analyse SWOT du chapitre suivant, il y a la possibilité d'opérer en mer même sans avoir à entrer dans le port si les conditions météorologiques et houleuses le permettent, en plus de la possibilité de traiter de gros volumes de produits en peu de temps.

Les principales unités opérationnelles utilisées pour ce type de ravitaillement (et les particularités relatives), ainsi que la représentation des cas d'application récents sont illustrées ci-dessous.

### 4.2.1 SOLUTIONS ET UNITÉS POUR LE TRANSPORT ET LE BUNKERING DE GNL

#### NAVIREES POUR LA LIVRAISON ET LE BUNKERING DE GNL

Les navires de livraison de GNL sont des transporteurs de taille moyenne utilisés pour le transport régional de GNL avec la perspective d'une utilisation comme carburant naval ou pour une utilisation industrielle de gaz naturel dans des zones reculées. Les navires actuellement en service ou en construction sont à double coque avec des capacités comprises entre 7 500 et 30 000 m<sup>3</sup>. Le tonnage et les dimensions des navires dépendent de la demande du marché et des limites physiques de la zone de déchargement, telles que la taille du site d'amarrage et le tirant d'eau du poste d'amarrage.

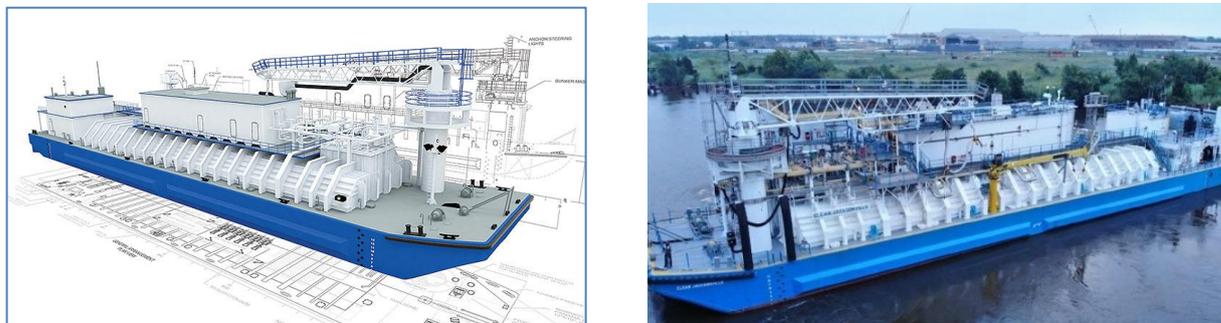
Ces navires peuvent être chargés aux terminaux d'importation de GNL. Le chargement s'effectue à travers des pipelines cryogéniques et des tuyaux flexibles ou des bras fixes à un débit typique de 1 000 à 6 000 m<sup>3</sup> / h (selon la taille du navire). Les vapeurs de GNL produites dans le réservoir sont renvoyées au terminal via une canalisation de retour. Le déchargement du navire au terminal ou à la station d'avitaillement s'effectue également via des canalisations cryogéniques, des tuyaux ou des bras fixes. Le GNL est pompé vers le terminal à l'aide de pompes submersibles adaptées aux réservoirs du navire à un débit typique compris entre 1 000 et 6 000 m<sup>3</sup> / h.

*Figure 30: Rendering et illustration du bunker ship "Coral Methane".*



Source: Anthony Veder Group

Figure 31: Rendering et illustration de la barge “Clean Jacksonville”



Source: Herbert Engineering

Différents des premiers principalement par le fait qu'ils sont principalement utilisés pour ravitailler des navires en mode naviree-naviree, les navirees de soutage de GNL sont des bateaux de petite et moyenne taille pour la fourniture directe de GNL aux navirees à l'intérieur ou à l'extérieur du port. Lors du soutage, le GNL est pompé directement des réservoirs du naviree de soutage vers le réservoir du naviree à ravitailler.

La conception des navirees de soutage est la même que celle des navirees de livraison de GNL et ont généralement une capacité de 500 à 20 000 m3.

Aujourd'hui, les navirees de soutage de GNL jouent un rôle fondamental dans la possibilité d'augmenter la capacité de soutage car ils permettent de surmonter les problèmes liés aux opérations de ravitaillement côté terre / quai. Le ravitaillement du côté opposé du quai permet une plus grande flexibilité dans le ravitaillement et les opérations portuaires.

Le tableau suivant présente les principales caractéristiques dimensionnelles pour les différentes tailles de navirees de soutage de GNL de petite et moyenne taille (1 500 à 7 500 m3, source Damen). Ces navirees garantissent une bonne flexibilité opérationnelle également pour une utilisation dans les eaux portuaires, avec un tirant d'eau réduit (entre 3 et 5 m) et une longueur comprise entre 70 et 115 m.

Les plus gros navirees de soutage ne varient que dans une mesure limitée en termes de taille, atteignant 125 m de longueur pour un tirant d'eau de 6,6 m dans la configuration de 10 000 m3 (source Wartsila).

Tableau 19: principales caractéristiques dimensionnelles des différentes tailles de navirees de soutage de GNL

<b>Capacité de charge GNL (m3)</b>	<b>7.500</b>	<b>6.500</b>	<b>4.000</b>	<b>3.000</b>	<b>1.500</b>
Longueur (m)	115,84	105,9	99,9	99,9	72,27
Brouillon (m)	5,6	5,6	3,25	3,25	3,05
Vitesse max. (kts)	13	13	10	10	10
Largueur (m)	18,6	18,6	13,5	11,3	11,3

Les petits navires de soutage (500-3.000 m<sup>3</sup>) sont généralement équipés d'un ou deux réservoirs, principalement de forme cylindrique, avec une pression de calcul de 3 à 4 bar eff. (Réservoir IMO de type C) et une capacité de réservoir unique de 500-2.000 m<sup>3</sup>.

Ces navires peuvent être chargés dans des soutes de petite / moyenne taille ou de grands terminaux d'importation. Le chargement s'effectue à travers des canalisations cryogéniques et des tuyaux flexibles ou des bras fixes à un débit de 60-3.000m<sup>3</sup> / h en fonction de la taille du réservoir du navire.

Les navires de soutage transportant du GNL sont soumis au «Code international pour la construction et l'équipement des navires transportant des gaz liquéfiés en vrac» de l'OMI (Code IGC), sauf si le navire opère exclusivement dans les eaux intérieures, en dehors du champ d'application du Code susmentionné. Dans ce cas, les règles seront définies au niveau national et au niveau européen l'ADN (Accord international pour le transport des marchandises dangereuses par voies navigables intérieures), la directive 2016/1629 ou le règlement RVIR (Rhine Vessel Inspection Regulations) s'appliqueront.

## INFRASTRUCTURES POUR LE MOUVEMENT DU GNL AU PORT

Les barges de soutage de GNL sont essentiellement la version non propulsée des navires de soutage. Ils sont compatibles avec toutes les différentes gammes de capacités et de systèmes de confinement et le nombre de projets développés avec ce mode d'approvisionnement augmente.

Les mouvements des barges sont gérés par des remorqueurs ou tout autre moyen capable de déplacer la barge dans la zone portuaire en fonction des besoins de ravitaillement en GNL dans les différents emplacements possibles.

L'utilisation d'un remorqueur ou d'une unité extérieure de mouvement représente d'une part un élément de flexibilité qui permet de déplacer différentes unités flottantes avec un seul véhicule automobile; en revanche, des difficultés de manœuvre peuvent survenir dans des eaux très fréquentées.

Les barges peuvent être équipées de réservoirs intégrés ou de réservoirs positionnés au-dessus du pont principal.

S'il existe des règles dérivant du code IGC et IGF pour les navires de soutage, il ne semble pas y avoir de règles spécifiques applicables aux cas de transport de GNL et de soutage de barges. Cela peut avoir des implications liées à l'harmonisation de ces navires flottants qui doivent être prises en considération par les autorités portuaires.

D'un point de vue réglementaire, le soutage de GNL à partir d'un ponton de GNL peut sembler, à première vue, une méthode de soutage PTS. Cependant, une attention particulière doit être portée au fait que le ponton peut être considéré comme une unité mobile, avec des implications pour le cadre réglementaire applicable.

L'approche des meilleures pratiques préconisée dans la directive actuelle est de considérer ces pontons comme des infrastructures semi-fixes, à encadrer dans un cadre réglementaire adéquat pour la prévention des accidents majeurs. En particulier, il est recommandé d'évaluer la position dans laquelle le ponton est amarré en tant qu'établissement potentiel Seveso, en prenant sa capacité de stockage comme principal critère indicatif pour le classement du poste.

La principale prévention des accidents concernant les structures flottantes, telles que les pontons, doit conduire à des considérations qui pourraient affecter le port adjacent entourant le lieu d'amarrage.

Du point de vue des unités existantes, il n'existe à ce jour aucun ponton pour le soutage de GNL pleinement opérationnel en Europe.

Cependant, ils sont une réalité consolidée dans les voies navigables intérieures en Chine, qui a connu un véritable boom dans la construction de navires à gaz et dans l'utilisation du GNL comme carburant marin au cours des dix dernières années, comptant plus de 19 stations de ravitaillement navales en GNL, y compris des installations de ravitaillement au sol et des pontons flottants de soutage situés principalement le long du fleuve Yangtsé, de la rivière des Perles et du canal Beijing-Hangzhou.

*Figure 32: Deux réservoirs GNL de 250m installés sur le ponton de Baguazhou*



*Source: Jiangsu Haiqiguanghua. CIMC*

En Europe, bien qu'il existe plusieurs barges utilisant le GNL comme carburant alternatif (notamment sur les voies navigables intérieures), le seul exemple de ponton pour le ravitaillement en GNL en mode STS a été construit dans le cadre du projet EU Core LNGas Hive. Le projet impliquait la modernisation d'une barge-citerne non propulsée, qui a effectué en février 2018 le premier essai pilote du navire pour les opérations de chargement de GNL dans le port de Bilbao, transférant 90 mètres cubes de GNL à un navire en transit.

*Figure 33: Test pilote de soutage STS dans le port de Bilbao à l'aide d'un ponton*



*Source: Progetto CORE LNGas Hive*

Le naviree Oizmendi, anciennement appelé Monte Arucas, a subi quelques transformations pour être équipé à la fois de réservoirs de fioul conventionnels et de deux réservoirs de GNL de 300 m<sup>3</sup>. La rénovation a été réalisée sur sept mois à Astilleros de Murueta (premier chantier naval à convertir un naviree de ce type) et a impliqué un investissement de 5,5 millions d'euros.

La situation est différente en ce qui concerne les commandes passées pour ce type d'unité, dont quelques exemples représentatifs sont proposés ci-dessous, dont la livraison est prévue dans les deux prochaines années.

Fluxys et Titan LNG ont uni leurs forces pour construire FlexFueller 002, un quai de soutage destiné à rendre le gaz naturel liquéfié (GNL) plus largement disponible comme carburant pour les expéditions dans le port et la région d'Anvers.

Le ponton, qui mesurera 76,40 mètres de long et 11,45 mètres de large, sera équipé de quatre citernes à vide de type C capables de transporter jusqu'à 370 mètres cubes de GNL, pour un total de près de 1500 m<sup>3</sup> de capacité de stockage. Le ponton n'est pas autopropulsé et pour faciliter la manœuvre, il sera entraîné par une unité externe.

Le ponton de soutage de GNL FlexFueller 002, qui sera mis en service à la mi-2020, sera basé au quai 526/528 dans le port d'Anvers, où Fluxys a obtenu une concession l'année dernière pour fournir des services de soutage de GNL, et où les expéditions de GNL prennent actuellement place en mode camion-naviree.

Un autre projet innovant qui devrait voir le jour en 2020 consiste en la construction d'une unité de transport de barges semi-ballastables (SBBT), qui opérera en Méditerranée et en mer Adriatique.

L'unité SBBT est composée d'un remorqueur bicarburant (MDO et GNL) comme élément propulsif et d'un ponton non motorisé pour la fourniture de carburants à faible teneur en soufre qui serviront au ravitaillement des grands navirees de croisière du port de Venise. Il est donc conçu comme une unité unique mais séparable en deux composants distincts qui,

en cas de besoin, peuvent fonctionner séparément, offrant également des services de remorquage, d'escorte, de sauvetage, de ravitaillement et de sauvetage.

En particulier, les caractéristiques techniques pertinentes du ponton sont les suivantes:

- Longueur totale (sans remorqueur): 89,4 m
- Largeur: 26,7 m
- Tirant d'eau maximum: 3,0 m
- Déplacement à pleine charge: 5 526 T
- Capacité de stockage: 4 000 m<sup>3</sup> de GNL et 1 000 m<sup>3</sup> de MDO

L'unité a été conçue par SENER pour Rimorchiatori Riuniti Panfido & C. srl, l'un des plus importants propriétaires et exploitants de remorqueurs et de barges en Europe, avec 130 ans d'expérience dans les services maritimes, dans le cadre du projet européen Poseidon MED II, qu'il a garanti un cofinancement d'environ 11,7 millions d'euros.

La livraison est prévue pour 2020, un horizon temporel en réalité plus court que celui envisagé pour l'achèvement du projet relatif à la construction d'une installation de stockage côtier de GNL de 32000 mètres cubes à Porto Marghera di Venice, à partir de laquelle le Panfido devrait s'approvisionner. La société déclare se coordonner avec Venice LNG afin que les caractéristiques techniques du véhicule soient compatibles avec celles du futur dépôt et vice versa, ajoutant que si ce n'est pas disponible pour les délais de livraison du SSTB, ils seraient prêts à trouver d'autres solutions pour la fourniture de gaz, y compris la construction du terminal GNL de Krk en Croatie, par camion ou par bateau.

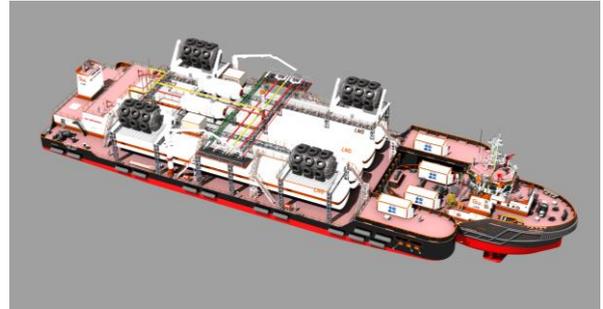
*Figure 34: Rendering du ponton GNL Flex Fueler 002*





Source: Titan LNG

Figure 35: Rendering du Semi Ballastable Barge Transporter (SBBT).



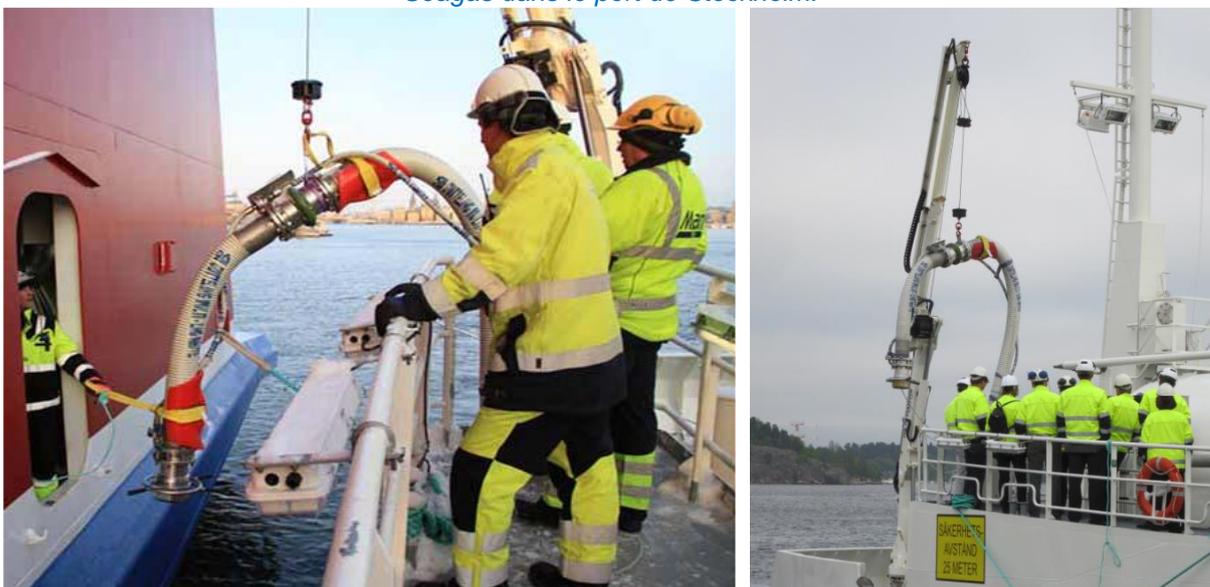
Source: Sener marine

## ÉQUIPEMENT À BORD DES BUNKER

Quelle que soit l'unité utilisée pour l'avitaillement en mode STS, des bras de chargement et / ou des tuyaux flexibles seront nécessaires pour le transfert du GNL du cargo au navire de réception.

Les tuyaux ont été utilisés avec succès dans le passé pour des projets spécifiques de navire à navire. Un exemple est l'expérience de longue date du ferry Viking Grace, qui utilise des tubes flexibles de 6 pouces connectés au collecteur via un raccord «sec» et une déconnexion rapide marine. Il s'agit d'une méthodologie efficace lorsqu'une flexibilité opérationnelle excessive n'est pas requise et que l'équipement est spécifique à un navire récepteur.

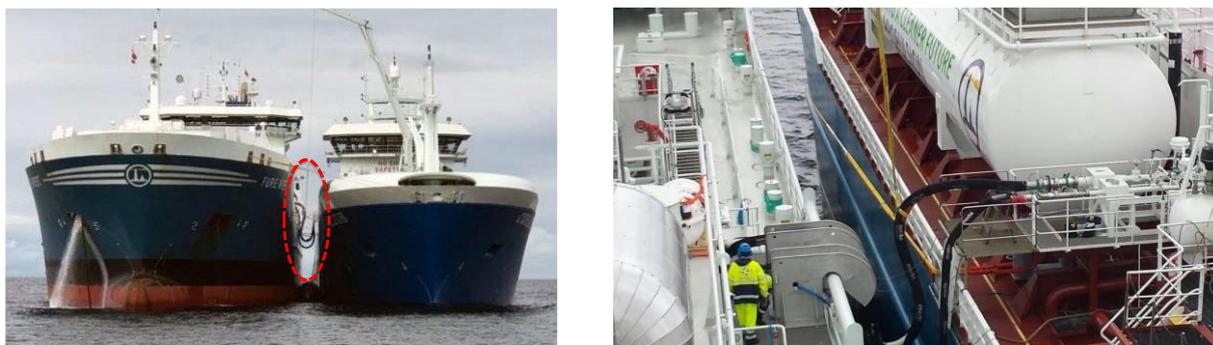
*Figure 36: Utilisation de flexibles pour le transfert de GNL en mode STS du navire de soutage Seagas dans le port de Stockholm.*



*Source: Viking Line*

Il en va de même pour le Coralius bunkerina, qui a réalisé plus de 100 opérations de soutage STS avec des tuyaux, presque toutes effectuées sur le même navire récepteur.

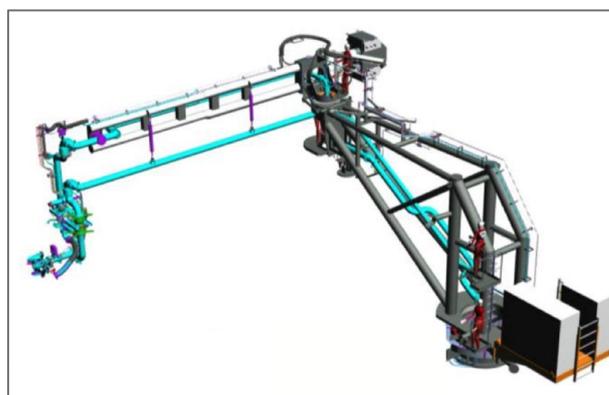
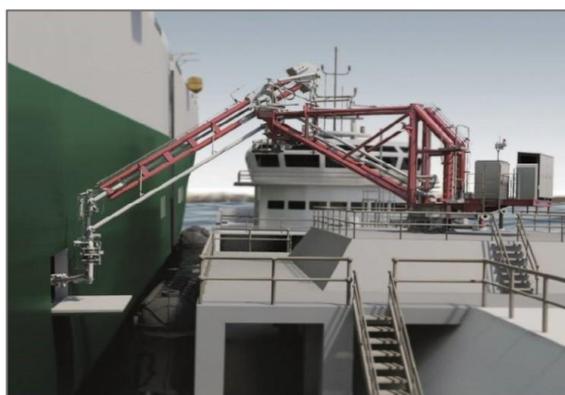
*Figure 37: Utilisation de conduites flexibles pour le transfert de GNL en mode STS de la bunkerine Coralius dans le port de Göteborg*



*Source: Swedegas*

Le marché en développement crée cependant des plages de fonctionnement toujours plus larges, ce qui implique la nécessité de fournir du GNL à une multitude de navires aux caractéristiques et besoins différents. Dans la conception des navires de soutage de GNL, ce besoin est satisfait par l'adoption de technologies de bras de chargement. Il ne s'agit pas d'une nouvelle technologie, mais elle a été historiquement utilisée à grande échelle sur les terminaux FSRU, FLNG et GNL. La réduction de ces conceptions de bras de chargement aux besoins d'un navire d'avitaillement de GNL nécessite des compétences techniques d'experts pour adapter le bras à une coque plus petite desservant un grand navire.

*Figure 38: Rendu et unité en bras de chargement rigide articulé pouvant être installé à bord du navire*



*Source: FMC technologies*

Le nouveau bras de chargement de MC Technologies pour le ravitaillement en GNL de navire à navire est une progression naturelle de ses concepts au sol établis. Comme les bras pour les deux autres applications, le nouveau bras est fabriqué à partir de tubes rigides et articulés et comporte des joints pivotants, ainsi que des technologies éprouvées de connexion / déconnexion rapide et de système d'urgence.

La flèche de contrepoids est essentiellement une version plus petite des bras de charge montés sur le quai. Devant être monté sur un navire soumis à des mouvements dynamiques lors des opérations de transfert, le bras intègre également des fonctions de compensation de mouvement.

Les créateurs du concept ont souligné comment le développement du système n'a pas placé d'obstacles directs à la conception elle-même. C'est plutôt l'absence de normes applicables pour les transferts de soutage de GNL et la nécessité de faire face aux contraintes opérationnelles dictées par différents contrats commerciaux qui posent les plus grands défis.

Le bras articulé peut pivoter à 270 ° et incorpore une conduite de liquide de 8 "(capable de gérer des débits de GNL jusqu'à 1 100 m<sup>3</sup> / heure) et une conduite de retour de vapeur de 6", toutes deux pouvant supporter une pression de service maximale de 19 barg. La ligne de liquide peut.

Le bras intérieur de la conduite de liquide mesure 8,5 m de long et le bras extérieur est de 10 m.

Le système de déverrouillage d'urgence de la flèche télécommandé utilise un seul actionneur hydraulique pour actionner les deux ensembles de vannes à bille doubles montées sur chaque conduite. L'agencement vise à fournir des déconnexions parfaitement synchronisées et un niveau d'intégrité équivalent à celui des opérations normales de transfert de GNL.

Les bras de charge articulés mais entièrement rigides sont plus fiables et plus sûrs mais ont une portée limitée (en termes de distance, pas de taux de transfert) et de flexibilité. À l'inverse, les conduits flexibles sont plus polyvalents mais moins durables dans le temps et ne sont pas optimisés pour une déconnexion d'urgence.

*Figure 39: Unité de rendu et de développement d'un bras de chargement semi-rigide innovant*



*Source: JLA loading technology*

L'utilisation d'un bras rigide et d'un tube flexible dans une seule structure, telle que la solution développée par JLA Technologies, permet de combiner les avantages des deux et est en mesure de garantir:

- Une efficacité et une sécurité accrues en cas de déconnexion d'urgence car les dispositifs se trouvent sur le côté de la bôme et non sur le pont du navire;
- La partie des tuyaux flexibles est relativement courte et les tuyaux de différents diamètres peuvent être facilement remplacés pour servir différents utilisateurs;

- Augmentation globale des performances de sécurité, de la durabilité et de la flexibilité pratique.

Les autres caractéristiques clés de ce type de solution peuvent être résumées comme suit:

- Bras rigide primaire et secondaire, avec connexion pour tuyau flexible;
- Structure supportée pour s'adapter aux variations de température;
- Pas de contrepoids lourd;
- Taille minimale et surface limitée occupée sur le pont;
- Meilleure ergonomie pour l'opérateur;
- Moment de flexion minimisé;
- Joints pivotants;
- Aucune grue requise.

---

#### 4.2.2 EXEMPLES D'APPLICATION SHIP-TO-SHIP ET PERSPECTIVES FUTURES

Le ravitaillement en GNL Ship-To-Ship (STS) a atteint sa sixième année d'expérimentation pratique en Europe depuis que la soute de 180 m<sup>3</sup> de GNL Seagas, un petit ferry norvégien converti, est entrée en service dans le port de Stockholm en 2013 pour fournir le ferry Viking Grace avec 70 tonnes de GNL presque tous les jours de la semaine.

Pourtant, jusqu'en 2017, Seagas est resté le seul opérateur à avoir une expérience directe. En effet, ce n'est qu'en 2017 que le marché dit du bunkerine a commencé à s'implanter, avec la mise en service des trois unités Enge Zeebrugge (5.000 m<sup>3</sup> opérant dans le port de Zeebrugge), Cardissa (6.500 m<sup>3</sup> opérant dans le port de Rotterdam) et Coralius (5 800 m<sup>3</sup>, desservant l'ouest de la mer Baltique, y compris le Skagerrak).

Ces nouvelles constructions et bien d'autres permettent à la flotte croissante de navirees à gaz d'être alimentés de manière plus sûre, plus rapide et plus efficace qu'avec les transferts TTS LNG. Il est en fait une opinion commune que pour les grands navirees bicarburant avec un temps réduit au port, le STS est la seule option viable.

L'année 2017 a également été marquée par de nouveaux contrats de construction pour quatre méthaniers côtiers de 7500 m<sup>3</sup>, dont deux pour la Korea Line et deux pour Avenir LNG (tous livrés en 2019-2021). Au cours des cinq premières semaines de 2018, un naviree de soutage presque trois fois plus grand qu'une unité typique de ce type a été commandé, et la première opération de ravitaillement en GNL a eu lieu à Bilbao (Espagne) à l'aide d'une barge rénovée.

Le 16 janvier 2019, AIDAnova, premier naviree de croisière au GNL au monde de la société allemande AIDA Cruises (Carnival Corporation), a mené avec succès sa première opération de soutage de naviree à naviree à Santa Cruz de Tenerife, dans les îles Canaries ( Espagne).

*Figure 40: Opérations d'avitaillement STS sur le naviree AIDA Nova par Coral Methane dans le port de Santa Cruz de Tenerife.*



*Source: Conferenza GNL*

Il est à noter que, contrairement aux unités AIDAPerla et AIDAPrima, appartenant à la classe Hyperion (sans système de confinement pour le GNL qui n'est utilisé que pour la production d'électricité lors de l'arrêt au port, et peut donc être alimenté en mode camion-naviree ), les volumes de la nouvelle classe Helios à laquelle appartient AIDAnova, nécessitent le choix du mode de soutage STS. L'opération a été réalisée par Coral Methane, un naviree de 7500 m3 construit en 2009 pour le groupe maritime Anthony Veder, qui a été modifié en 2018 de pétrolier GPL à naviree de soutage de GNL.

En février 2019, le Kairos de 7500 m3 que le chantier naval coréen Hyundai Mipo a construit pour Babcock Schulte Energy, une joint-venture Bernhard Schulte Shipmanagement / Babcock International, a été baptisé au Cruise Center de Hambourg, devenant ainsi, pour le moment, le plus grand unité de services de soutage de GNL aux grands navirees océaniques de la région de la Baltique et du nord-ouest de l'Europe.

*Figure 41: LBV Kairos lors de la première opération de ravitaillement en STS du porte-conteneurs Wes Amelie au large du port de Hambourg.*



*Source: Wordmaritimenews*

Preuve de la polyvalence des soutes et de leur capacité à servir divers utilisateurs dans des zones géographiques relativement vastes, Kairos, un mois après avoir ravitaillé le porte-

conteneurs Wes Amelie au large de Hambourg, a achevé la première opération de soutage de GNL pour le nouveau MS "Visborg" ferry à l'embarcadere des ferries dans le port de Visby (Suède orientale). Cette opération a été suivie par le ravitaillement, en avril 2019, du «Fure Valö», un pétrolier exploité par la Gothia Tanker Alliance, qui a reçu du GNL dans la zone de mouillage de Sandhamn, près de la capitale suédoise de Stockholm.

*Figure 42: LBV Kairos lors de la première opération de ravitaillement en STS sur le ferry de Visborg dans le port de Visby (Suède)*



*Source: Wordmaritimenews*

L'infrastructure de soutage de GNL est en expansion, encourageant les opérateurs à adopter le GNL comme carburant marin alternatif. De la disponibilité limitée des infrastructures à quelques ports sélectionnés, la couverture des installations de services à petite échelle s'est étendue à l'échelle mondiale pour inclure 24 des 25 ports les plus importants du monde.

La tendance est la même en ce qui concerne les infrastructures mobiles, en particulier les bunkerines (LBV), dont la portée et la flexibilité opérationnelle ont été progressivement élargies et par rapport auxquelles les constructeurs navals investissent dans de nouveaux concepts et la recherche de technologies cryogéniques innovantes pour accompagner la croissance continue des commandes.

Début 2017, le seul navire de soutage en service (SeaGas dans le port de Stockholm) a été rejoint par sept autres à la fin de 2018. C'est un phénomène qui va se poursuivre, SEA / LNG prévoyant l'arrivée d'environ 30 autres navires de ce type au cours des cinq prochaines années.

Selon la plate-forme Alternative Fuel Insight de DNV GL, 8 navires de soutage sont en service aujourd'hui, 14 autres ont été décidés (y compris ceux déjà commandés par les chantiers navals ou affrétés) et six autres sont actuellement en discussion.

Au final, le marché des navires de soutage au GNL ne montre que des signes provisoires de ralentissement et la concurrence pour les commandes devrait rester féroce, les chantiers navals continuant de consolider leur expertise.

Si l'entrée en service de nouveaux navires de soutage dans la Baltique complète l'infrastructure d'approvisionnement à terre déjà solide sur d'autres marchés, les LGW joueront un rôle encore plus central pour assurer la fourniture de services à petite échelle.

Dans cette optique, il est plausible de croire que la mise en service de l'unité Avenir LNG en Méditerranée créera un précédent pour d'autres investissements de ce type, très probablement également en Italie et dans le bassin de la mer Tyrrhénienne, en complément de le nouveau stockage modulaire actuellement sous autorisation, ainsi que des usines de

regazéification existantes qui pourraient être adéquates pour offrir des services de soutage à petite échelle (par exemple, OLT offshore et Panigaglia).

*Tableau 20: Liste des bunker ship en fonctionnement et en construction*

Anné	Propriété	Operateur/ charterer	Port opér. de référence	Zone operative	Capacité (m <sup>3</sup> )	Etat
2013	AGA Gas	AGA Gas	Stocolma	Suède	180	Fonct.
2017	Marine LNG Zeebrugge	Marine LNG Zeebrugge	Zeebrugge	Belgique	5.000	Fonct.
2017	Shell	Victrol NV/CFT	Rotterdam	Pays Bas	6.500	Fonct.
2017	Gasum	Gasum	Goteborg	Baltique	5.800	Fonct.
2018	Itsas Gas	Itsas Gas	Bibao	Espagne	600	Fonct.
2018	Anthony Veder	Anthony Veder	TBD	Espagne	7.500	Fonct.
2018	Nauticor (Linde Group)	Nauticor (Linde Group)	Stocolma	Suède	7.500	Fonct.
2018	TOTE Maritime	TOTE Maritime	Jacksonville	Florida (USA)	2.200	Fonct.
2019	Korea Line	Kogas	Busan	Corée du Sud	7.500	Ord. décidé
2019	Korea Line	Kogas	Busan	Corée du Sud	7.500	Ord. décidé
2019	Titan LNG	TBD	Anversa	Belgique	1.500	Ord. Décidé
2019	LNG Shipping (Victrol)	Shell	Rotterdam	Pays Bas	3.000	Ord. décidé
2019	Titan LNG	TBD	Amsterdam	Pays Bas	1.480	Ord. Décidé
2019	Avenir LNG	Avenir LNG	Santa Giusta (Oristano)	Italie	7.500	Ord. Décidé
2020	Avenir LNG	Avenir LNG	TBD	TBD	7.500	Ord. Décidé
2020	Rimorchiatori Panfido	Rimorchiatori Panfido	Venezia	Italie	4.000	Ord. Décidé
2020	ENN Energy	TBD	Zhoushan	Chine	8.500	Ord. Décidé
2020	CLS	CLS	Chubu	Japon	3.500	Ord. Décidé
2020	Ecobunker Shipping	Yokohama	TBD	Japon	2.500	Ord. Décidé
2020	Q-LNG	Harvey Gulf/Shell	TBD	USA	4.000	Ord. Décidé
2020	MOL	Total	Amsterdam/ Rotterdam/ Antwerp	Pays Bas – Belgique	18.600	Ord. Décidé

Anné	Propriété	Operateur/ charterer	Port opér. de référence	Zone operative	Capacité (m <sup>3</sup> )	Etat
2020	Shturman Koshelev	Gazpromneft	TBD	Baltique	5.800	Ord. Décidé
2020	Elenger (Eesti Gaas)	Elenger (Eesti Gaas)	TBD	Baltique	6.000	Ord. Décidé
2020	NYK, Kyushu Electric Power Co, Saibu Gas Co and The Chugoku Electric Power Co	TBD	Setouchi / Kyushu	Japon	3.500	Ordre à vérifier
2020	Naturgy	TBD	Barcelone	Espagne	6.000	Ordre à vérifier
2021	MOL	Total	Singapore	Singapore	12.000	Ord. Décidé
2021	Woodside	Woodside	Dampier	Australie	12.000	Ordre à vérifier
2021	Avenir LNG	Avenir LNG	TBD	TBD	7.500	Ord. Décidé
2021	Avenir LNG	Avenir LNG	TBD	TBD	7.500	Ord. Décidé

## 4.3 SOLUTIONS POUR TERMINAL (PORT) -BORDER ET EXEMPLES D'APPLICATION

En mode d'avitaillement terminal à navire, le GNL est transféré d'un réservoir de stockage fixe à terre (typiquement dans le port ou dans des zones adjacentes) via une ligne cryogénique avec bras de chargement (dans le cas d'un réservoir de stockage d'un terminal de regazéification), avec une extrémité ou un tuyau flexible d'un navire amarré à un quai ou une jetée à proximité. La proximité est recommandée par les coûts d'installation et d'exploitation d'un pipeline cryogénique. Le réservoir au sol peut être un stockage intermédiaire, dans un terminal GNL ou un dépôt côtier. Il peut s'agir d'un petit réservoir sous pression alimenté à son tour par camion-citerne, par train, par barge (navire navette) ou par une mini-usine de liquéfaction. Alternativement, un réservoir de grandes dimensions à pression ambiante peut être utilisé (notamment en cas de présence d'une usine de regazéification à proximité). La solution PTS garantit des débits plus élevés, adéquats pour alimenter de grandes cuves, par rapport à la solution TTS.

### 4.3.1 SOLUTIONS POUR LE TRANSFERT DE GNL AU QUAI

#### TUYAUX CRYOGÈNES

Les pipelines cryogéniques pour l'avitaillement en GNL permettent le transfert du carburant du site de stockage au quai de ravitaillement jusqu'au navire.

Du point de vue des matériaux utilisés, il s'agit généralement de tubes double couche en acier cryogénique de type VIP, avec une couche d'isolation supplémentaire interposée entre les deux tubes métalliques. Le tube interne contient du liquide, le tube externe maintient l'isolation grâce au vide créé entre les deux tubes et supporte également des charges externes. L'espace entre les tuyaux est équipé d'une isolation sous vide, et la contraction thermique du tuyau intérieur est compensée par des soufflets ou «boucles» le long de la ligne.

Les diamètres varient de 12" pour le collecteur principal de GNL (du navire aux réservoirs), jusqu'à 3" ou les tuyaux d'entrée de GNL vers les vaporisateurs (ceux pour le soutage de GNL seront de l'ordre de 8"). La conduite totale est limitée à l'efficacité d'isolation et, en principe, ne doit pas dépasser 250 m. L'utilisation de conduites flexibles doit également être limitée car elle implique une plus grande perte de chaleur et de pression que les sections de tube rigides. Habituellement, les tuyaux sont logés dans un passage souterrain construit en béton armé avec un couvercle d'allée. Le tunnel, qui sera entrecoupé de boucles d'expansion pour les canalisations cryogéniques, doit être entièrement inspecté et ventilé, prévoyant l'installation des canalisations du GNL pour le chargement des citernes, celles du BOG et celles du soutage. De plus, les tuyaux de la ligne de purge directement connectés à la torche doivent également être présents. Les conduits ondulés doivent ensuite être préparés pour le passage des lignes électriques et des câbles de signaux pour la transmission des données de processus.

La conception du tracé des canalisations cryogéniques peut encore prendre en considération différentes solutions de placement dans l'usine, par exemple en prévoyant la localisation

aérienne destinée à réduire l'impact sur les canalisations de GNL des risques liés à la circulation des véhicules.

Indépendamment de la manière et de l'endroit où ils sont placés, une attention particulière doit être accordée à la sécurité avec des mesures et des barrières spéciales pour atténuer le risque d'événements dangereux affectant ces composants.

Enfin, des systèmes d'inertage des canalisations doivent être prévus pour assurer leur sécurité en l'absence de procédures d'avitaillement en cours.

## BRAS DE CHARGEMENT

Le mode d'avitaillement terminal implique l'installation de bras de chargement et de déchargement pour le flux GNL et le flux BOG respectivement.

Dans les barrages cryogéniques pour GNL, la structure tubulaire est en acier inoxydable austénitique et est supportée par une structure réticulaire en acier au carbone fixée au quai.

Les tuyaux sont reliés les uns aux autres par 6 joints tournants «à articulation pivotante», qui permettent au bras de s'adapter aux mouvements du navire lors de la connexion. Le bras de chargement est conçu pour être équilibré, à vide, dans n'importe quelle position grâce à un système de contrepoids.

*Figure 43: Bras de chargement / déchargement de GNL typiques sur le quai*



*Source: Kanon technologies*

Le bras de chargement est conçu pour être déplacé uniquement lorsqu'il est vide. Le seul cas dans lequel le bras est censé être complètement déplacé est après la déconnexion d'urgence. La structure porteuse du bras cryogénique GNL est composée des éléments suivants:

- Colonne: tuyauterie en acier au carbone basse température fixée au pilier au moyen de tirants en acier à haute résistance;
- Tête de colonne carrée: positionnée en haut de la colonne, elle contient les deux cinquièmes roues qui permettent la rotation du bras interne dans le plan vertical et horizontal;
- Bras intérieur: structure réticulaire reliée à la colonne au moyen du carré de tête de colonne. L'arrière soutient le système de contrepoids tandis que l'avant soutient la gamme de produits. A l'extrémité de la partie avant se trouve la cinquième roue apex

qui permet la connexion avec le bras externe et sa rotation dans le plan vertical. Dans la partie arrière du bras interne se trouvent également les connexions pour les vérins hydrauliques;

- Bras extérieur: structure réticulaire reliée au bras intérieur via la cinquième roue apex. L'arrière est connecté au système pantographe tandis que l'avant prend en charge la gamme de produits.

#### 4.3.2 EXEMPLES D'APPLICATIONS RÉCENTES DE BUNKERING TPS

Le soutage direct du terminal GNL au navire destiné à être l'utilisateur final (par exemple, ferry ou bateau de croisière), et l'utilisation relative de pipelines cryogéniques de longueur plus ou moins considérable, n'est pas une pratique courante, principalement en raison d'une flexibilité opérationnelle limitée. Les opérations de soutage de terminaux les plus répandues à ce jour sont en effet principalement imputables aux services de rechargement des méthaniers, c'est-à-dire à l'opération avec laquelle le GNL, précédemment importé et stocké dans les réservoirs d'un terminal, est rechargé sur des méthaniers (d'une capacité comprise entre 30000 et 270 000 mètres cubes) pour la réexportation du produit, afin de saisir toutes opportunités commerciales. Les problèmes techniques à considérer sont identiques au cas précédent (service de chargement de GNL sur les navires de soutage), à l'exception de l'adaptation de la jetée et des autres structures d'amarrage qui ne doivent pas être modifiées. Les méthaniers destinés au rechargement, bien que souvent de plus petite taille, sont en fait les mêmes navires qui effectuent les opérations d'importation de GNL, pour lesquelles le Terminal est déjà installé.

En Europe du Nord, en 2016, la filiale Gasum Skangas a réalisé pour la première fois, en collaboration avec le personnel de Mann Tek (fournisseur de systèmes de transfert de GNL), une opération de soutage vers un navire (Ternsund) directement depuis le premier terminal GNL de Finlande à Pori sur la côte Ouest.

*Figure 44:PTS bunkering au navire Ternsund à Pori (Finlandia).*



*Source: Mann Tek.*

En avril 2017, Repsol et Enagás ont réalisé la première opération de soutage de GNL en Europe directement depuis une usine de regazéification vers un navire.

L'opération, qui fait partie du projet CORE LNGas HIVE, cofinancé par la Commission européenne pour augmenter l'utilisation du GNL comme carburant dans les transports, est le

résultat d'une collaboration entre Repsol, Enagás et l'Autorité portuaire de Carthagène. L'opération de soutage a duré 5 heures et a été réalisée au moyen de tuyaux cryogéniques qui relient le navire directement au terminal. Le navire Damia Desgagnés a reçu 370 m<sup>3</sup> de GNL, le plus gros volume jamais fourni à un navire à ce jour en Espagne et pour Repsol qui, lors d'opérations précédentes, avait fourni jusqu'à 320 m<sup>3</sup> au même navire avec des méthaniers.

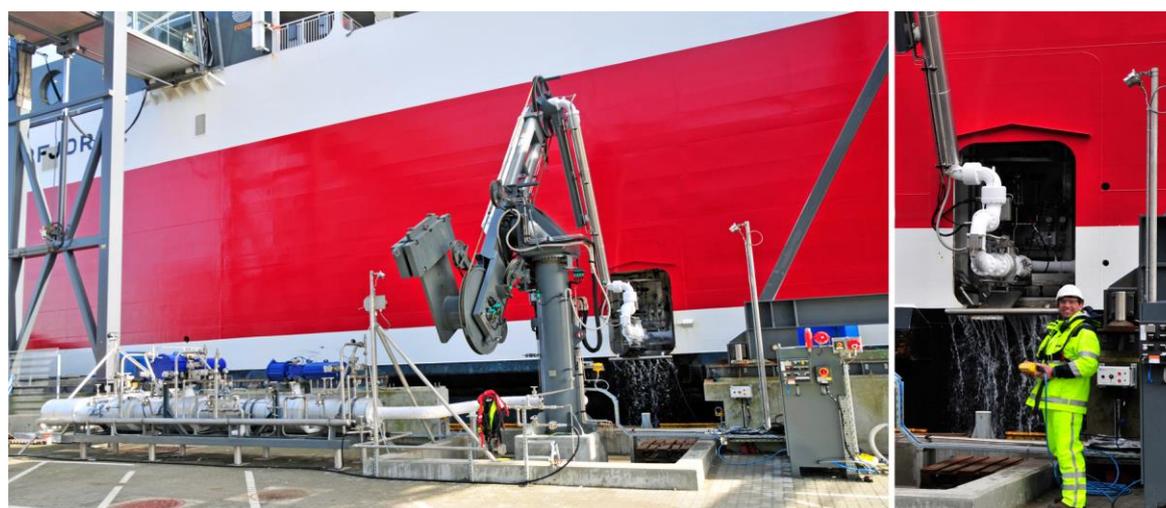
*Figure 45: Pilote ravitaillement en mode PTS (à gauche) et TTS (à droite) vers le navire Damia Desgagnés dans le port de Carthagène au terminal d'Enagas*



*Source: CORE LNGas Hive*

Skangas a annoncé que la première station de soutage de gaz naturel liquéfié (GNL) dans les pays nordiques est ouverte et fonctionne avec succès. La nouvelle station de soutage alimente les ferries de croisière Fjord Line, qui sont les premiers et les plus grands au monde à utiliser des moteurs alimentés exclusivement au GNL, Risavika (Stavanger, Norvège).

*Figure 46: Bras de chargement fixe sur le quai pour les opérations de soutage PTS dans le port de Risavika*



*Source: Cryonorm BV*

La station, qui est située à côté de l'usine de liquéfaction de Skangas qui traite 300 000 tonnes par an, est directement reliée au réservoir de stockage de GNL de 30 000 mètres cubes. Il assure des transferts de terre à bateau avec des débits supérieurs à 300 m<sup>3</sup> / heure. grâce au premier "bras de chargement développé exclusivement pour le soutage", selon Skangas.

La station de soutage est dans un emplacement privilégié, très proche de la principale route commerciale qui longe la côte ouest de la Norvège. Avec l'ajout de la nouvelle station de soutage de GNL, le port de Risavika est désormais considéré comme le port de soutage de GNL le mieux équipé d'Europe. Pour l'avenir, Risavika Havn et Skangas développeront un autre quai à Risavika pour le soutage du GNL.

Quatre opérations d'avitaillement en mode PTS sont prévues chaque semaine à Risavika pour les deux méthaniers de la Fjord Line. Tandis qu'à travers TTS, Skangas continuera à fournir du GNL par camion à d'autres utilisateurs, toujours dans le secteur maritime mais moins exigeants en termes de volumes. Pour l'avenir, les opérateurs prévoient également l'utilisation future d'une unité navale pour le transfert de GNL d'un navire à l'autre.

Tout aussi récent est le démarrage des opérations de soutage TPS à l'usine Swedegas dans le port de Göteborg, conçue pour gérer à la fois le GNL et le BGL (Gio-GNL) et qui est la première usine en Suède à autoriser les pétroliers (en particulier le pétrolier "Tern Sea ") pour faire le plein depuis le quai fixe lors des opérations de chargement et de déchargement, réduisant ainsi considérablement les temps d'amarrage.

L'usine reçoit actuellement du GNL des pétroliers et des conteneurs ISO, puis le transfère aux navires via des pipelines cryogéniques et des tuyaux flexibles sur le quai.

On s'attend à ce que la structure conceptuellement évolutive soit étendue par la suite en fournissant des unités de stockage modulaires dans le port, de manière à recevoir de plus grandes quantités de GNL, même à travers de gros pétroliers.

Figure 47: PTS bunkering à Goteborg



Source: Swedegas

## 4.4 SOLUTIONS DE CAMION À BATEAU ET EXEMPLES D'APPLICATION

Le transport régional, la distribution locale et le ravitaillement naval de GNL peuvent également avoir lieu grâce à l'utilisation de camions-citernes / conteneurs ISO dans le mode dit camion-naviree, à condition que la distance entre les points de chargement et de déchargement ne soit pas trop élevée. (max 500 km) et la consommation prévue est limitée.

Parmi les différentes méthodes d'avitaillement de GNL, le «camion-naviree» (TTS) est le plus couramment utilisé, en raison de sa flexibilité opérationnelle et des besoins d'infrastructure limités, mais aussi en raison du faible coût de l'investissement initial requis pour l'opération.

### 4.4.1 SOLUTIONS POUR LE TRANSPORT DE GNL PAR ROUTE

Il Le GNL peut être transporté dans des semi-remorques cryogéniques spécialisées ou via des conteneurs ISO, en maintenant les températures basses pendant le transport.

#### CAMIONS AVEC REMORQUE

Une semi-remorque type a une capacité d'environ 18 tonnes, ce qui, après regazéification, permet la production de 25 600 Nm<sup>3</sup> de gaz naturel sous forme gazeuse.

Ce type d'unité se compose d'un réservoir horizontal isolé sous vide constitué d'un récipient sous pression «interne» en acier inoxydable et d'un revêtement «externe» en carbone et acier inoxydable.

Les tuyaux, les raccords, les vannes et les instruments de contrôle sont situés derrière le véhicule, permettant un accès facile pendant le ravitaillement et l'entretien.

*Figure 48: Exemples et agencement d'une semi-remorque type pour le transport de GNL par route*



*Source: Chart industries*

In en fonction des caractéristiques du réservoir de chargement, deux types de pétroliers peuvent être identifiés:

- Les citernes avec une citerne à cargaison en acier inoxydable à simple paroi, isolée avec des panneaux isolants rigides en polyuréthane et équipée d'un mince couvercle de protection en aluminium ou acier inoxydable;

- Citernes avec un réservoir de chargement isolé à double paroi composé d'un réservoir interne en aluminium ou en acier inoxydable et d'un réservoir externe en acier au carbone.

Le réservoir de chargement d'un méthanier a généralement une pression de conception de 5 à 6 bar eff et est équipé d'un système de protection contre la surpression avec deux soupapes de sécurité.

Les principales spécifications des méthaniers sont présentées ci-dessous. La pression et la température du GNL dans le réservoir pendant le transport sont typiquement comprises entre 0 et 3 bar eff (-160 ° C et -142 ° C).

Les méthaniers peuvent être chargés dans de grands terminaux d'importation de GNL ou des dépôts de stockage de taille moyenne avec un débit de 50 à 100 m<sup>3</sup> / h. Le GNL est pompé des réservoirs de stockage vers le camion-citerne au moyen d'une pompe submersible via une canalisation cryogénique fixe et une conduite flexible de chargement / déchargement. Les vapeurs de GNL produites dans le réservoir sont renvoyées au terminal via une canalisation de retour.

Le déchargement des méthaniers au terminal de stockage ou à une station de ravitaillement locale s'effectue également à travers un tuyau flexible (2-3 ") et une canalisation cryogénique fixe avec un débit typique compris entre 40 et 60 m<sup>3</sup> / h. Le GNL peut être transféré via une pompe montée sur le camion-citerne ou en augmentant la pression dans le camion.

## CONTENEUR ISO

D'autre part, les conteneurs ISO typiques disponibles sur le marché qui pourraient être utilisés dans la chaîne d'approvisionnement intermodale peuvent être des unités de 20 ou 40 pieds, ont des caractéristiques d'isolation similaires et peuvent envisager différentes pressions de fonctionnement en fonction de l'utilisation prévue.

Les produits de Chart Industries, leader du secteur en Europe, sont ici pris comme référence de par leur large utilisation.

*Figure 49: Exemples d'unités de conteneurs ISO intermodaux de 20 pieds (gauche) et 40 pieds (droite).*



*Chart industries*

Une unité non chargée de 20 pieds a un poids de 7600 kg et une capacité de 8,6 tonnes de GNL à une pression maximale de 10 bar, et est capable de maintenir le GNL à l'état liquide jusqu'à 80 jours.

La version 40 pieds aura un poids à vide plus élevé (11500 kg), mais une capacité d'environ 18,5 tonnes de GNL à une pression maximale de 10 bars, garantissant de maintenir le GNL à l'état liquide pendant un maximum de 70 jours selon Température ambiante.

Les connexions et les taux de transfert requis sont essentiellement les mêmes que pour les pétroliers.

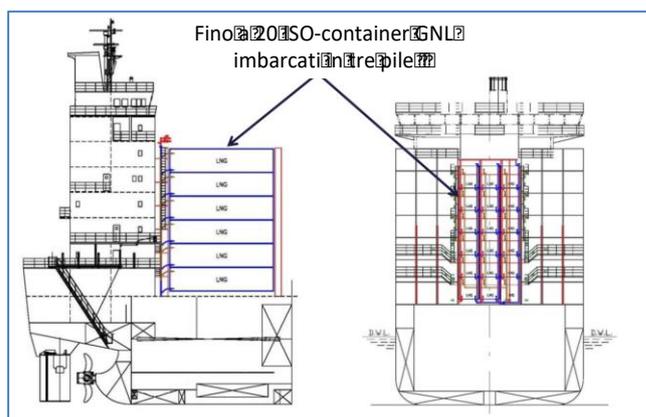
## LES AVANTAGES INTERMODAUX DU CONTENEUR ISO

Contrairement aux citernes avec remorques, les conteneurs ISO ont la particularité de pouvoir exploiter les avantages découlant du transport intermodal.

Les conteneurs ISO sont déjà couramment utilisés pour transporter du GNL à travers le monde par bateau, rail ou route.

Par bateau, leur utilisation pour le transport de grandes quantités dans des régions éloignées peut également être envisagée dans le cas des porte-conteneurs, qui dans ce cas assument également le rôle de navire de ravitaillement pour le GNL, qui est facilement transporté avec une cargaison conventionnelle sans compromis. L'optimisation des espaces.

*Figure 49: Option d'expédition conteneurisée par bateau d'unités ISO*



Des applications pilotes, principalement réalisées dans le cadre de projets cofinancés par l'UE, ont également été menées en Méditerranée.

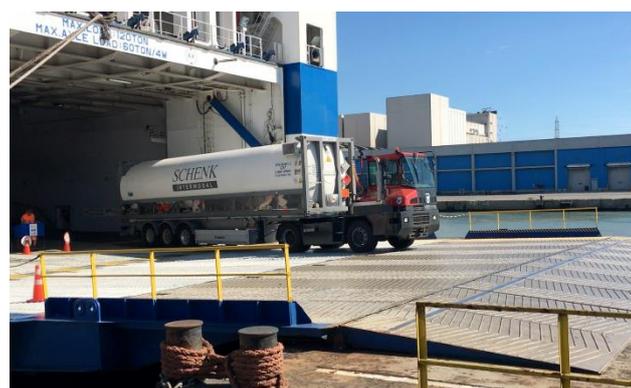
Comme les semi-remorques, elles peuvent être transportées par route puis chargées sur des navires rouliers utilisés pour le transport de marchandises dangereuses.

Dans le cadre du projet européen GAINN4MED, une expérimentation pionnière du transport multimodal de conteneurs ISO pour le GNL a été menée sur les autoroutes de la mer.

Le test d'expédition a eu lieu sur la route Barcelone - Livourne. Dans le port toscan, le réservoir ISO a été chargé vide et sans remorque sur un navire Ro-Ro de la société Grimaldi Lines. Débarqué à Barcelone, il a été récupéré par un transporteur espagnol pour être rempli au terminal GNL d'Enagas, puis ramené à la zone d'embarquement. Rechargé sur le navire, il est retourné au port de Livourne d'où il a été remorqué par un transporteur italien pour décharger sa cargaison cryogénique à la station de ravitaillement routier C-LNG à Ancône.

Le test a permis de toucher les obstacles et opportunités de ce type de solutions logistiques. Il y a en fait de nombreuses questions à considérer: de la bonne application de la législation sur le transport intermodal (au niveau de l'UE réglementé par la directive 2015/719 et réglementé en Italie par la circulaire 300 / A / 2536/18/108/5/1 du ' Interne) à l'arrêt temporaire au port des unités cryogéniques dans les zones ADR, en passant par la systématisation d'un transport combiné qui jusqu'à présent n'a pas de précédent.

*Figure 50: Conteneur ISO avec remorque sur le quai en attente de chargement (à gauche) et de déchargement (à droite) du navire Ro-Ro lors d'une application pilote sur l'itinéraire Barcelone-Livourne*



*Projet GAINN4MED*

Enfin, les expériences de transport de ce type d'unité également par chemin de fer sont récentes, afin de permettre l'acheminement de la charge directement vers les terminaux logistiques et portuaires équipés d'une liaison ferroviaire adéquate.

Un exemple en est l'expérience acquise dans le cadre du projet CORE LNGas Hive qui a mené à bien un test pilote de transport multimodal de GNL, consistant en le transport de GNL dans un conteneur ISO de Huelva à Melilla, par route, rail et mer.

Le GNL a été chargé à l'usine de regazéification d'Enagás située dans le port de Huelva. De là, il a été transporté par camion jusqu'au terminal ferroviaire du port de Huelva, où il a été transféré dans un train. Le train s'est rendu à la gare de Majarabique (Séville), et de là, il a été transporté par camion jusqu'au port d'Algésiras (Cadix). Là, il a été transféré sur un navire qui a fait le voyage d'Algésiras à Melilla.

*Figure 51: Transport multimodal par bateau (à gauche) et par rail (à droite) de conteneurs ISO LNG, réalisé dans le cadre du projet CORE LNGas Hive*



*Source: CORE LNGas hive*

#### 4.4.2 CONNEXIONS MULTIPLES SIMULTANÉES POUR LE BUNKERING TTS

Avec un besoin croissant de GNL, en particulier pour les navirees ayant une capacité de transport de carburant plus élevée, plus d'un camion peut être nécessaire pour stocker une seule unité. Ceci peut être réalisé de manière séquentielle ou, en variante, grâce à une variété de solutions de soutage simultanées.

Dans le sillage d'expériences à l'étranger, des solutions de transfert simultané de GNL à partir de plusieurs pétroliers / conteneurs ISO ont également été développées en Europe.

Dès 2015 à Jacksonville (Floride) TOTE avait en effet développé des solutions efficaces pour le soutage de ses navirees. Actuellement, 25 conteneurs ISO par semaine sont déployés au port de Jacksonville avec des approvisionnements d'une durée moyenne de 5 heures, en utilisant un skid de transfert spécialement conçu, qui a réduit les temps d'avitaillement car il permet de connecter quatre pétroliers en même temps.

D'autres solutions similaires ont récemment été développées et commercialisées en Europe également. Quelques exemples représentatifs d'efficacité prouvée sont proposés ci-dessous.

Figure 53: Opérations simultanées de soutage TTS à Jacksonville (Floride), utilisant des skids pour plusieurs connexions



Source: TOTE Maritime

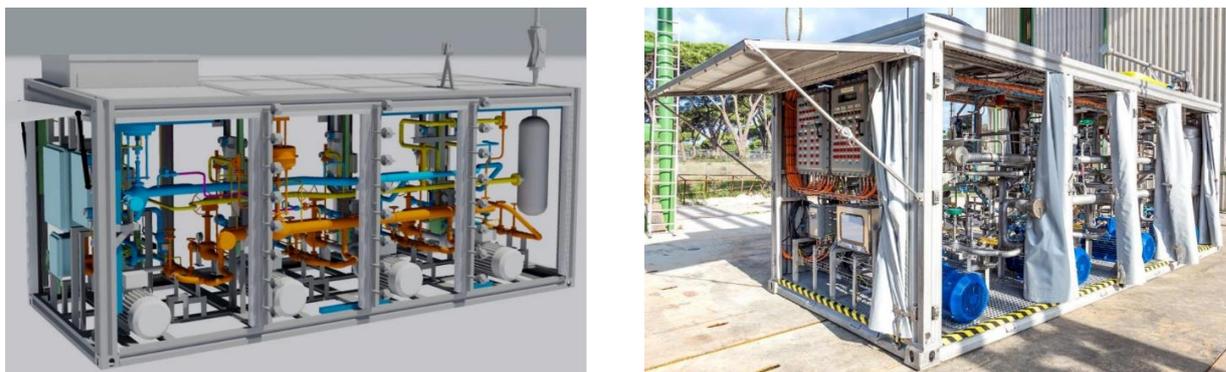
## GAS & HEAT "LNG 4SPEED"

Gas and Heat a terminé la conception, la production et l'assemblage d'une solution de ravitaillement multiple appelée LNG 4 Speed (brevet en instance), spécialement conçue pour connecter quatre camions-citernes de GNL simultanément dans des opérations de camion-soutage. Naviree, permettant au naviree de être ravitaillé en un sixième du temps par rapport au ravitaillement traditionnel avec un pétrolier à la fois.

Dans les deux versions disponibles, la solution conçue par la société toscane envisage à la fois la gestion des flux en mode classique camion-naviree pour le ravitaillement des navirees avec système de propulsion GNL, et ceux du naviree au pétrolier, pour répondre aux besoins de ces opérateurs. qui ont besoin de transférer du GNL d'une barge vers des camions-citernes

/ conteneurs ISO pour approvisionner des dépôts satellites, des distributeurs de GNL ou des installations industrielles situées non à proximité immédiate du port et dans l'arrière-pays.

*Figure 54: Rendu (à gauche) et prototype (à droite) de la solution de ravitaillement multiple «4SPEED» par Gas & Heat*



*Source: Gas & Heat*

Un skid du premier type (camion-naviree) est actuellement employé par une compagnie maritime canadienne qui est maintenant en mesure de gérer correctement le manque d'infrastructure GNL dans le régime opérationnel de ses unités.

Chaque bateau a un skid à bord qui peut être déchargé au quai et manoeuvré par la grue du naviree. Le skid est relié par des flexibles au naviree et aux quatre camions au moment de l'opération de soutage. Une fois l'opération terminée (après purge et vidange), le Skid peut être laissé sur le quai, chargé et arrimé à bord du naviree, pour être ensuite utilisé dans le prochain port d'accostage.

Ayant été spécifiquement conçu pour cette dernière utilisation, la conception axée sur la réduction du poids et des volumes a permis d'obtenir une unité aux dimensions finales égales à celles d'un conteneur de 20 pieds.

*Figure 55: Opérations d'avitaillement soumises à des tests de dérapage (à gauche) et unité réassemblée prête à être transportée sous forme de conteneur de 20 pieds (à droite) par Gas & Heat*



*Source: Gas & Heat*

Les performances et les particularités de cette solution peuvent être résumées comme suit:

- Débits de 400-620 m<sup>3</sup> / h pour les flux du naviree aux pétroliers, selon le diamètre des tuyaux (de 2 ½ à 3 ");
- Débit minimum de 220m<sup>3</sup> / h pour les flux camion-naviree;
- Pas besoin, pour les citernes ou les conteneurs ISO, de vaporisateurs ou de pompes accessoires;
- Pas besoin d'ajustements manuels des flux de chargement / déchargement par les opérateurs;
- Poids total de 6-7 tonnes selon la version avec les mêmes dimensions.

#### KOSAN CRISPLANT "Y PIECE"

Parmi les multiples connecteurs pour le soutage de GNL en mode camion-naviree, la solution de la société danoise Kosan Crisplant (MAKEEN Energy) est actuellement disponible sur le marché, qui a déjà commercialisé le produit auprès du groupe logistique international NIJMAN / ZEETANK opérant dans les pays Bass.

La pièce en Y est conçue pour fonctionner comme un adaptateur qui divise la ligne d'avitaillement en deux, permettant au GNL d'être transféré au naviree à partir de deux pétroliers en même temps.

*Figure 56: Rendu (à gauche) et fonctionnement réel (à droite) du ravitaillement simultané de deux pétroliers à l'aide du composant «Y PIECE» de la société Kosan Crisplant*



*Source: Kosan Crisplant*

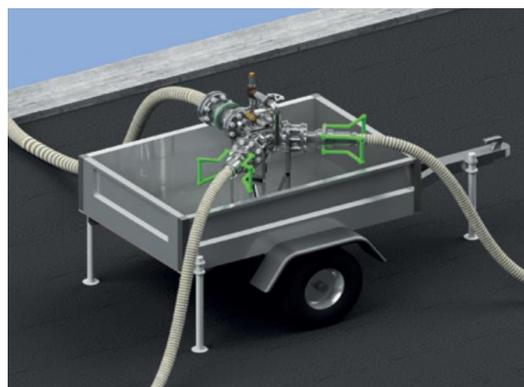
De plus, en ajoutant un deuxième élément à la ligne, la quantité potentielle de camions-citernes pouvant décharger simultanément du GNL passe à quatre, réduisant le temps de soutage de 75%, assurant des débits allant jusqu'à 120 m<sup>3</sup> / h.

Grâce à une conception conçue pour atteindre le plus haut degré de flexibilité et de légèreté, ce type de composant de soutage est une solution très mobile: son poids est si faible qu'il peut être soulevé à la main par seulement deux membres d'équipage ou du personnel à quai, puis

être transporté sur n'importe quelle remorque standard sans besoin de machines spéciales ou de grues.

Le composant s'adapte facilement à tout type de remorque, mais surtout les clapets anti-retour et un système de purge innovant permettent de déconnecter et de changer les remorques pendant l'opération de remplissage, sans interrompre l'opération d'avitaillement.

*Figure 57: Rendu du composant « Y PIECE » et option de chargement standard de la remorque sur le quai*



*Source: Kosan Crisplant*

#### 4.4.3 EXEMPLES D'APPLICATION RÉCENTS DU BUNKERING DE CAMION À BATEAU

##### EXPÉRIENCE DES PAYS-BAS

Déjà en 2015, le chimiquier Sefarina, propriété de Chemgas Shipping, était ravitaillé en GNL via une opération de soutage TTS, dans ce que le port d'Anvers considérait comme un banc d'essai pour l'avitaillement des navires de mer.

Le tournant a eu lieu à partir de 2017 avec les premières opérations TTS à connexions multiples, utilisant des solutions technologiques similaires à celles décrites précédemment.

Au port d'Amsterdam, au premier semestre 2017, Titan LNG, l'un des principaux fournisseurs de GNL des marchés maritime et industriel du nord-ouest de l'Europe, a fait soute le suédois M / T Fure West, en utilisant un équipement appelé « T-piece », similaire à la solution décrite dans ce document, qui permettant la connexion simultanée de deux unités rend le processus d'avitaillement de pétrolier à navire beaucoup plus efficace, car il réduit le temps nécessaire par rapport au ravitaillement séquentiel classique. Le taux de soutage combiné de l'opération, qui a impliqué 6 pétroliers au total, a atteint 28 tonnes par heure.

Figure 58: Bunkering TTS avec connexion multiple du Fure West dans le port d'Anvers



Source: Titan LNG

Le même chimiquier a ensuite été ravitaillé au port de Moerdijk, où il a reçu 140 tonnes de GNL provenant de 7 pétroliers en environ 9 heures de fonctionnement.

Figure 59: Bunkering TTS avec connexion multiple du Fure West dans le port de Moerdijk



Source: Nauticor

La première opération TTS simultanée au port de Rotterdam remonte à octobre 2017, lorsque Titan LNG a effectué sa première procédure de «soutage rapide» à Rotterdam en déchargeant simultanément du GNL via deux camions sur le naviree Wes Amelie de Wessels Reederei avec six camions. total, avec un fonctionnement simultané réduisant le temps de livraison global et les temps d'arrêt des navirees.

*Figure 60: Bunkering TTS avec connexion multiple dans le port de Rotterdam*



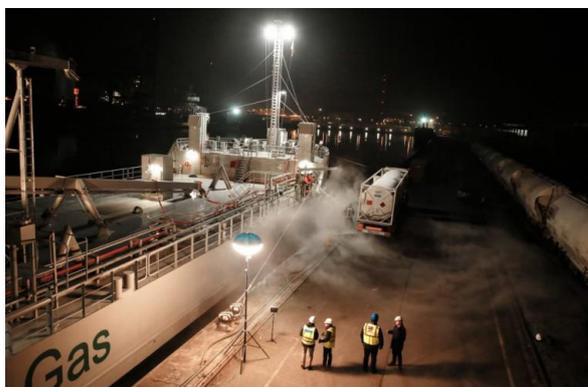
*Source: Titan LNG*

À cette fin, le port de Rotterdam, en partenariat avec Titan LNG, a mis en place un site temporaire pour le ravitaillement en GNL camion-naviree, jusqu'à ce qu'un nombre suffisant de barges soient disponibles pour effectuer l'avitaillement maritime de GNL de naviree à naviree.

## EXPERIENCE ALLEMANDE

Depuis début 2016, Gazprom Allemagne, le port de Rostock et l'autorité de régulation locale ont développé le cadre juridique et opérationnel nécessaire pour conduire les opérations de soutage TTS dans le port de Rostock, permettant ensuite d'alimenter le M.V. en GNL. Groenland, une cimenterie de 110 m exploitée par la compagnie maritime norvégienne KGJ Cement AS.

*Figure 61: Bunkering TTS au M.V. Groenland dans le port de Rostock*



*Source: Gazprom*

En septembre 2017, le port de Bremerhaven a enregistré le record de l'opération de soutage TTS la plus rapide sur le porte-conteneurs Wes Amelie, transférant 140 tonnes de GNL en 5 heures environ grâce à la connexion simultanée de pétroliers avec connecteur développé par Nauticor.

*Figure 62: Avitaillement TTS avec connexion multiple du porte-conteneurs Wes Amelie dans le port de Bremerhaven*



Source: Nauticor

Pour témoigner de la flexibilité et de la faisabilité opérationnelle du mode TTS même dans les régions reculées, il est utile de souligner comment, en novembre 2018, le fournisseur de GNL néerlandais Titan LNG a achevé la première opération de soutage de GNL au port de Mukran sur l'île allemande de Rügen dans la mer Baltique. L'opération de soutage visait à approvisionner la drague de l'Escaut de DEME et impliquait sept pétroliers

*Figure 63: Bunkering TTS avec connexion multiple dans le port de Mukran*



Source: Titan LNG

## EXPÉRIENCE SUÉDOISE

La société énergétique estonienne Eesti Gaas a achevé la 1500e opération de soutage de GNL dans le port de la vieille ville de Tallinn en mode TTS en février 2019.

L'unité de réception du carburant cryogénique est le ferry rapide Megastar de Tallink Grupp, qui stocke le GNL à bord dans deux réservoirs cryogéniques (un de chaque côté) de 300 m<sup>3</sup> chacun. Au cours des deux dernières années, Megastar a ravitaillé plus de 28 300 tonnes de GNL en mode TTS: plus de 16 000 en 2016 et 12 300 un an plus tôt.

Figure 64: Avitaillement TTS avec connexion multiple au ferry Megastar dans le port de Tallin



Source: Eesti Gaas

Eesti Gaas fournit du GNL et des services au navire Megastar à l'aide de huit camions achetés spécifiquement par la société à cette fin, et jusqu'à présent, une moyenne de 65 opérations de soutage ont été effectuées par mois, couvrant plus d'un million de kilomètres pour la livraison de GNL à le quai des sources d'approvisionnement. Le carburant gazeux du Megastar provient du terminal de Pori en Finlande et de Pskov en Russie. De ces deux endroits, le GNL est transporté vers le port d'Helsinki et le soutage est effectué directement à partir des camions stationnés sur le quai, avec l'utilisation de bras robotiques qui relient la tuyauterie cryogénique flexible aux vannes de ravitaillement des deux côtés du navire. La vitesse d'avitaillement est de 120 m<sup>3</sup> / h et l'opération se fait par deux pétroliers en même temps.

Cependant, l'opérateur Megastar envisage également l'installation d'un réservoir permanent de 500 m<sup>3</sup> sur le quai, correctement approvisionné, ce qui contribuerait à rendre l'offre de soutage plus flexible et indépendante de la disponibilité des pétroliers. Cela permettrait au ferry d'être ravitaillé avec des volumes plus importants une fois tous les 3-4 jours, par rapport aux opérations quotidiennes d'aujourd'hui rendues nécessaires par le fait que le navire ne dispose que d'une heure de stationnement autorisé par le port d'Helsinki.

Une mise à niveau opérationnelle qui sera en tout cas également rendue possible par la future mise en service du navire de soutage de 6000 m<sup>3</sup> dont la découpe de la tôle était déjà célébrée en mars 2019 et qui deviendra opérationnel à partir de l'automne 2020.

*Figure 65: Rendu du bunkerine Elenger prévu d'opérer dans le port d'Helsinki pour approvisionner la ferry Megastar.*



*Source: Damen*

Construit par le chantier naval Damen Yichang en Chine pour Elenger (anciennement Eesti Gas), l'unité mesurera 99,8 mètres de long, disposera de moteurs bicarburant et, grâce à la notation ICE CLASS 1, elle pourra fonctionner toute l'année, même en conditions difficiles, hiver dans la région baltique.

Les deux réservoirs GNL de type C de 3000 m<sup>3</sup> chacun qui seront installés à bord du navire seront partiellement exposés pour assurer un accès facile et permettre aux futures adaptations de s'adapter aux demandes des clients finaux.

Il est également important de souligner que, toujours en Suède, la société scandinave Skangas a fourni pour la première fois en BioGNL un pétrolier bicarburant diesel / GNL dans le port de Göteborg.

L'opération de soutage avec du carburant renouvelable et respectueux de l'environnement réalisée par camion-navire a impliqué le chimiquier M / T Fure Vinga de la société Furetank Rederi AB, utilisant BioGNL de l'usine suédoise de biogaz à Lidköping de Gasum, la société mère de Skangas .

*Figure 66: Avitaillement TTS avec Bio-LNG à Fure Vinga dans le port de Göteborg*



*Source: NGV*

## EXPÉRIENCE ESPAGNOLE

La compagnie énergétique espagnole Repsol a réalisé quatre opérations d'avitaillement de GNL dans les ports de Carthagène et Ferrol début 2019, fournissant deux nouveaux ferries de la compagnie maritime norvégienne Torghatten Nord AS, à destination de la Norvège après avoir quitté le chantier naval turc de Tersan. Chantier naval Inc.

La société a déclaré avoir fourni 215 mètres cubes dans le port méditerranéen de Carthagène (Murcie) et 180 mètres cubes dans le port nord de Ferrol (Galice) aux deux navires hybrides: les ferries passagers / rouliers Huftarøy au GNL et Samnøy ( tous DNV Classe + 1A1, 134 mètres de long et 20 mètres de large). Samnøy a reçu environ 110 mètres cubes de carburant, tandis que Huftarøy a été ravitaillé avec 68 mètres cubes.

L'opération était gérée par Repsol et développée en collaboration avec Enagás, Molgas et Reganosa, les autorités portuaires de Carthagène et Ferrol et la société Redwise Maritime Services, qui gérait le voyage des navires depuis le chantier turc. Outre les ferries précités, le chimiquier Fure Vinga a également été ravitaillé en GNL en mode TTS au port de Carthagène.

*Figure 52: TTS bunkering à Samnøy (gauche) et Fure Vinga (dr.) à Ferrol et Cartagena*



*Source: Repsol, Nauticor*

## EXPÉRIENCE PORTUGAISE

AIDA Hyperion Class est la nouvelle génération de navires de croisière conçue pour l'efficacité et la performance environnementale, construite par Mitsubishi Heavy Industries pour le groupe Carnival. À ce jour, les navires suivants existent dans la classe:

- AIDAPrima (IMO 9636955) livré en mars 2016.
- AIDAPerla (IMO 9636967) livré en avril 2017

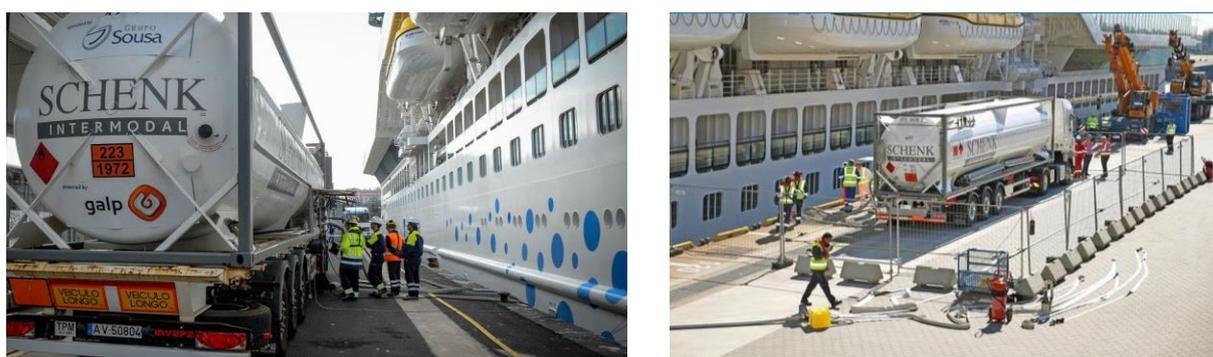
Avec les innovations et les nouvelles technologies intégrées, la classe a établi, puis suivi par Helios, de nouvelles normes pour le marché des navires de croisière en termes de sécurité, d'impact environnemental et d'efficacité énergétique.

Ils ont été les premiers navires de croisière au monde équipés d'un moteur principal bicarburant et d'un moteur auxiliaire bicarburant permettant d'utiliser le GNL comme source d'énergie, à quai, pour produire de l'électricité et de la vapeur / eau chaude. En cours de route, le moteur principal bicarburant et les auxiliaires fonctionnent au carburant conventionnel (HFO / MGO).

Aucun système de confinement de GNL n'est installé à bord, qui est à la place alimenté par un conteneur ISO de 40 pieds directement sur le quai pendant les (environ 10) heures de repos, à hauteur d'environ 15 à 17 tonnes correspondant à environ 40 m<sup>3</sup> de GNL. Le raccordement du conteneur ISO avec le système d'alimentation en méthane au moteur a été développé conjointement par les spécialistes des systèmes GNL installés à bord (TGE-Marine Gas Engineering), par les techniciens de Carnival Group et par les autorités portuaires compétentes.

Déjà fin 2017, la société portugaise Galp a achevé dans le port de Funchal à Madère le premier ravitaillement en GNL en mode TTS jamais réalisé dans un port portugais, continental ou atlantique.

*Figure 68: Bunkering TTS à AIDA Nova dans le port de Funchal (Madère)*



*Source: Conferenza GNL*

L'opération d'acquisition concernait le navire AIDAPrima, qui a été approvisionné en GNL équivalant à la consommation moyenne journalière de 42 000 familles. Le GNL qui est transporté vers l'île via des conteneurs ISO grâce à une logistique qui reproduit en pratique un gazoduc virtuel qui, entre autres, permet d'alimenter la centrale thermoélectrique de Vitória, dans la municipalité de Funchal. Pour cette opération, Galp collabore avec Gaslink, une unité de Grupo Sousa qui gère la logistique d'approvisionnement et de transport de GNL entre le Portugal et la région autonome portugaise de Madère.

## EXPÉRIENCE ITALIENNE

Pour AIDA Perla, le "jumeau" d'AIDA Prima, qui opère depuis un an en mer du Nord et en mer Baltique, avec des procédures déjà testées dans les ports de Hambourg, Le Havre et Rotterdam, a eu lieu pour la première fois en L'Italie au port de Civitavecchia la procédure autorisée pour l'avitaillement en mode camion-naviree en juillet 2017.

L'instrument juridique pour autoriser l'opération était la Conférence sur les services qui, sans préjudice de l'intérêt parallèle du MIT, la municipalité, mais aussi les différents opérateurs appelés à y participer, impliquaient:

- Autorité portuaire de Civitavecchia;
- Autorité portuaire de Civitavecchia;
- Pompiers de Rome.

*Figure 69: Procédures d'avitaillement TTS à AIDA Perla dans le port de Civitavecchia*



*Source: Progetto GAINN4MOS*

L'autorité portuaire de Civitavecchia, le terminal de croisière de Rome, le fournisseur de GNL (Liquimet) et le coordinateur technique de l'Initiative GAINN\_IT ont également eu une réunion préliminaire avec les pompiers pour examiner les aspects liés à la sécurité de manière préliminaire et informelle. De AIDA Perla's Opérations de ravitaillement en GNL. Un accent particulier a été mis sur les procédures de gestion d'éventuelles situations d'urgence et sur l'identification des rôles et responsabilités des personnes chargées de les exécuter et de les préparer.

Le processus d'autorisation, qui a duré environ deux mois, a ensuite connu les étapes temporelles suivantes:

- première conférence de services le 16.05.2017;
- libération de l'autorisation le 11.07.2017.

Le processus n'était pas une fin en soi, mais servait à définir une série d'éléments pour les opérations futures, qui pourraient éventuellement être capitalisées par d'autres ports. Le terminal de croisière de Rome et la zone Tech 21 ont en effet préparé les études et procédures (y compris les procédures d'urgence) pour pouvoir approvisionner les navires de croisière qui toucheront le port de Civitavecchia et qui se ravitailleront en GNL via un pétrolier. Le résultat final des études, outre l'obtention des autorisations pour l'opération, a consisté en la définition des éléments suivants:

- La procédure d'arrivée et de départ du pétrolier / conteneur ISO dans le port de Civitavecchia et sur les terminaux gérés par le terminal de croisière de Rome;
- La procédure de ravitaillement du bateau de croisière et la définition des opérations à quai;
- Une procédure d'urgence et d'évacuation, accompagnée de cartes indiquant le flux de passagers, d'autobus et de camions de fret loin du cargo transportant du GNL;
- L'acquisition d'équipements de lutte contre l'incendie, de barrières de sécurité, etc.
- La formation du personnel du terminal de croisière de Rome et d'autres entreprises (y compris les agences qui travaillent dans le terminal);
- La mise à jour des procédures de sécurité du terminal de croisière de Rome;
- La planification et la diffusion d'une campagne d'information à Civitavecchia et en Italie sur l'opération.

Afin d'évaluer l'adoption d'une procédure d'autorisation similaire également dans d'autres ports italiens, il est important de noter qu'en préparation de la Conférence sur les services, le terminal de croisière de Civitavecchia a réalisé les analyses de risques suivantes:

a. Analyse conformément à la norme ISO / TS 18683: 2015 (Lignes directrices pour les systèmes et installations pour la fourniture de GNL comme combustible aux navires), pour identifier:

- la zone de sécurité (la zone autour du camion d'avitaillement où seul le personnel dédié et essentiel est présent);
- la zone de sécurité (la zone autour du camion d'avitaillement et du navire où le trafic maritime et les autres activités sont surveillés (et contrôlés) pour atténuer les effets nocifs).

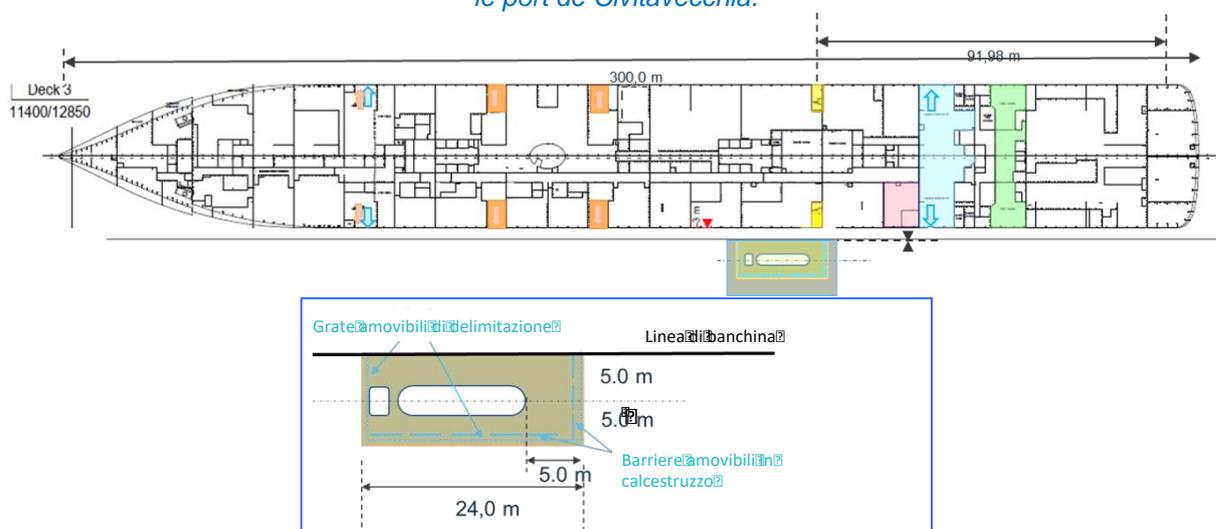
b. Analyse conformément au décret 81: 2008 (Sécurité dans les zones de travail), pour identifier:

- SIMOPS, opérations simultanées réalisées en parallèle du processus de soutage, que ce soit à terre, dans l'eau ou sur les navires concernés;

- la procédure de coordination (entre le terminal, le camion et le navire, les garde-côtes et les pompiers).

Toujours du point de vue de la définition des profils de risque, élément particulièrement pertinent et support pour les autorités portuaires qui envisagent d'adopter des solutions de soutage similaires, il est utile de souligner que pour la classe Hyperion en général, les zones ATEX ont été évaluées (i.e. zones à haut risque) du véhicule de ravitaillement, en concluant que celles-ci n'atteignent pas le côté du navire récepteur, mais restent dans la zone de sécurité de 10 x 24 mètres autour du camion.

*Figure 70: Schéma de délimitation de la zone de sécurité pour les opérations TTS à AIDA Perla dans le port de Civitavecchia.*



Source: Progetto GAINN4MOS

Du point de vue de la logistique d'approvisionnement, le GNL de Civitavecchia serait aujourd'hui fourni par un conteneur ISO transporté par train de Rotterdam à Frosinone puis par la route jusqu'au point de livraison sur le quai. Le conteneur ISO serait positionné à proximité des sorties de connexion au bateau à moteur (qui sont suffisamment éloignées des passerelles d'atterrissage des passagers) et temporairement clôturé avec des barrières en béton amovibles (nouveau jersey) et des grilles de délimitation pour assurer la sécurité du service. Les procédures comprennent un détachement rapide en cas d'urgence et des systèmes de ventilation acheminés vers les événements du navire à haute altitude.

Il est également possible de fournir le conteneur ISO de GNL depuis le terminal GNL de Barcelone par ferry directement à Civitavecchia, avec des procédures de transport déjà réglementées.

### L'expérience TTS dans le port de Venise

Toujours dans le sillage de l'expérience de Civitavecchia, en décembre 2018, les opérations de ravitaillement en GNL du navire «Hypatia de Alejandria», construit par le chantier naval de Visentini pour la société espagnole Balearia et équipé d'un bicarburant, ont été conclues.

Les opérations ont nécessité un processus d'autorisation complexe mené par l'Autorité maritime / Garde côtière de Venise qui a coordonné des discussions techniques spéciales avec les diverses parties intéressées (y compris l'Autorité du système portuaire, Arpav, le commandement provincial des pompiers, le Service chimique portuaire, Terminal Vtp, Venice Lng) en promouvant des analyses conjointes des procédures pour effectuer des opérations de ravitaillement délicates, en développant des évaluations de risques spécifiques et en fournissant des exigences de sécurité détaillées également pour la gestion des urgences.

L'opération a été menée par Polargas (Groupe CPL) qui employait 5 pétroliers ravitaillés à Marseille.

*Figure 71: Opération de ravitaillement TTS au ferry Hypatia de Alejandria dans le port de Venise*



*Source: Worldmaritime news, ANSA.*

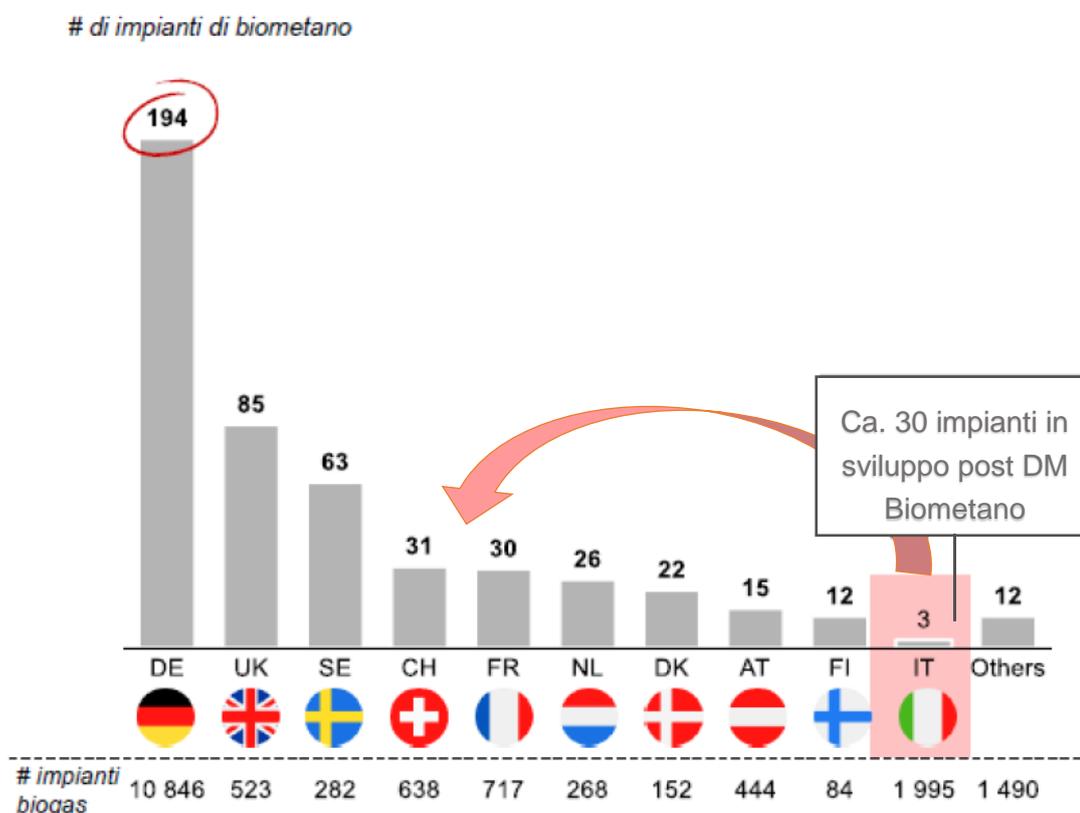
## 4.5 LE DEVELOPPEMENT DE LA CHAINE DU GNL

Le thème de l'utilisation éventuelle du biogaz dans le secteur des transports est de plus en plus d'actualité. Sous la pression des politiques de réduction des émissions et à la lumière des nouvelles exigences environnementales en la matière, l'utilisation du biométhane dans les transports permettrait de réduire les émissions de CO2 jusqu'à 90% et de rendre les processus de production, de transformation et de consommation plus efficaces dans une perspective de l'économie circulaire.

Par ailleurs, la possibilité de créer une série d'infrastructures de liquéfaction de biométhane le long du territoire national favoriserait un développement capillaire du réseau de stockage et de distribution de GNL même dans les zones où l'approvisionnement traditionnel en GNL (par voie terrestre ou maritime) est plus complexe ou économiquement peu commode.

Le rapport 2018 de l'Agence européenne du biogaz a montré que le nombre d'usines de biogaz européennes a augmenté régulièrement au cours de la dernière décennie, montrant que les marchés nationaux sont bien établis et suffisamment solides pour surmonter l'incertitude politique qui a affecté certains pays. Fin 2017, 17783 usines de biogaz et 540 usines de biométhane étaient en service en Europe, produisant 1,94 milliard de mètres cubes de biométhane sur l'année.

Figure 53: usines de production de biométhane et de biogaz en Europe



Source: Associstieri su dati Bain & Company - 2018

Une production qui semble également pouvoir bénéficier d'un coup de pouce positif également de l'adoption de la directive sur les énergies renouvelables, qui comprend un objectif juridiquement contraignant au niveau de l'UE de 32% pour les énergies renouvelables d'ici 2030, avec une clause de révision à la hausse en 2023, comme ainsi que des objectifs sectoriels et un objectif final de 14% d'énergie renouvelable dans le secteur des transports d'ici 2030.

La directive, qui devra être mise en œuvre par les États membres de l'UE dans leurs législations nationales respectives, est certainement une étape positive vers l'adoption à grande échelle du gaz renouvelable au cours de la prochaine décennie. Il facilitera l'accès du biométhane au réseau de gaz naturel, étendra les garanties d'origine et facilitera les échanges transfrontaliers.

En Italie, cette opportunité est désormais rendue encore plus actuelle et pratique grâce aux nouvelles incitations à la production de biométhane à utiliser dans le secteur des transports établies par le décret du 2 mars 2018 du ministère (DM) du Développement économique et résumées dans le tableau suivant.

*Tableau 21: Le mécanisme incitatif prévu par le Biométhane DM*

Art. DM	Règles
<b>Biométhane (Art. 5)</b>	Il récompense CIC pour les producteurs de biométhane
	Des suppléments sont prévus pour le type de matière première utilisée
<b>Biométhane av. (Art. 6)</b>	Il prévoit le retrait des CIC des producteurs avancés de biométhane
	Valoriser chaque CIC à 375 €
	Il permet le retrait physique du biométhane par le GSE
<b>Biocarburants av. (Art. 7)</b>	Il prévoit le retrait des CIC des producteurs de biocarburants avancés
	Valoriser chaque CIC à 375 €
	Il n'y a pas de retrait physique de biocarburant
<b>Reconversions (Art. 8)</b>	Reconnaît / prévoit le retrait des CIC des producteurs d'usines de biogaz converties au biométhane / biométhane avancé
	Il prévoit une réduction de l'incitation électrique perçue pendant la période légale résiduelle
	Il prévoit une réduction de l'incitatif biométhane si la conversion a lieu après la fin de l'incitatif électricité

Source: Assocostieri, 2018

- a) Considérez également que l'Italie est le deuxième producteur de biogaz en Europe après l'Allemagne et le quatrième au monde, avec plus de 1700 usines actives (données du Consortium italien du biogaz, 2019). Aujourd'hui, une vingtaine de projets de liquéfaction sont déjà en cours de conception et de construction sur le territoire national. Au cours des deux dernières années, l'Italie a enregistré le taux de croissance le plus élevé du secteur, avec des investissements en cours, déclarés par les entreprises et calculés par REF-E et ConferencGNL, soit 240 millions d'euros pour la mini-liquéfaction et la production de bio-GNL.
- b)
- c) Le processus de production de BIO-LNG est décrit ci-dessous en 3 étapes principales:
- d) a) La production de biogaz est réalisée par le traitement de la «biomasse» (c'est-à-dire toutes les matières d'origine organique n'ayant subi aucun processus de fossilisation, comme les résidus de la chaîne agro-alimentaire et l'OFMSW - Organic Fraction of Urban Déchets solides) à l'intérieur d'un digesteur, où les biomasses sont déplacées à certaines températures et, par un processus de fermentation, ferment ce que l'on appelle le biogaz.
- e) b) Grâce à un processus d'épuration ultérieur, le gaz résultant (biométhane) peut être utilisé comme combustible, combustible pour le chauffage et pour la production d'électricité.
- f) c) En aval d'un processus d'épuration ultérieur, le biométhane est liquéfié et stocké dans des réservoirs cryogéniques, le Bio-LNG peut être utilisé directement dans le secteur du transport routier et maritime longue distance. Dans la phase de liquéfaction, le CO2 est également éliminé du biométhane, qui peut être utilisé dans la production alimentaire.

Figure 54: Cycle du Bio-GNL

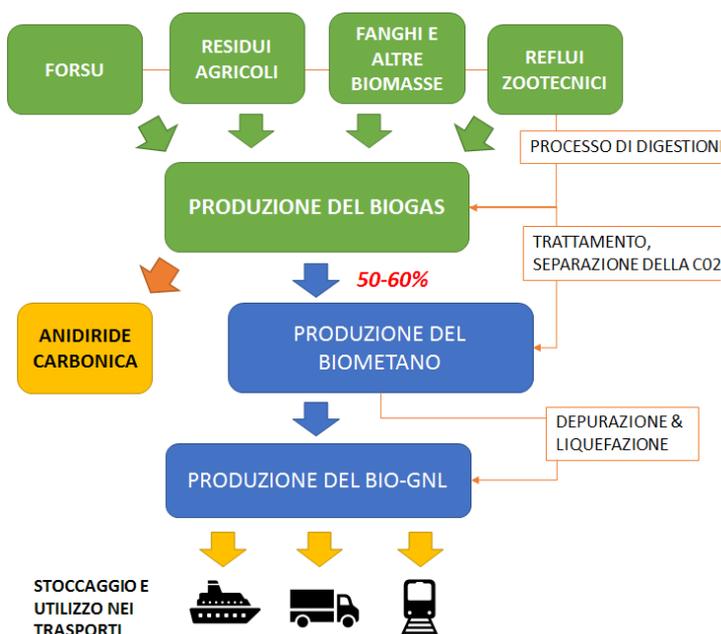


Figure 55: Projet Biomèthane en Italie



Source: Consorzio Italiano Biogas, 2019

Le rendement en biométhane issu du procédé de «valorisation» du biogaz est compris entre 50 et 60% des volumes traités (1m<sup>3</sup> de biogaz produit environ 0,5-0,6 m<sup>3</sup> de biométhane). Dans le processus de purification et de liquéfaction pour produire du Bio-GNL destiné à être utilisé dans le transport maritime et terrestre à longue distance, le rendement en biométhane est d'environ 95%.

En ce qui concerne les possibilités d'utilisation du Bio-LNG dans le domaine du transport, il est souligné que les moteurs GNL sont déjà technologiquement prêts pour la traction au biométhane, puisque le Bio-LNG, du point de vue de sa composition, est tout à fait comparable au GNL traditionnel. . D'un point de vue technologique, il n'y a pas de restrictions sur le pourcentage de "blending" (mélange) entre le GNL et le Bio-GNL, pouvant atteindre un taux de remplacement de 100% et garantissant des pourcentages de réduction des émissions de gaz à effet de serre jusqu'à 94% par rapport aux carburants traditionnels.

La pleine compatibilité est attestée non seulement du côté terrestre avec les innombrables opérations de ravitaillement des poids lourds du Bio gaz sous sa forme liquide et comprimée (pure ou mélangée dans des proportions variables), mais aussi, côté mer, par le récent ravitaillement, à l'aide de Bio 100% GNL, d'un pétrolier bi-carburant diesel / GNL dans le port de Göteborg par la société scandinave Skangas.

L'utilisation du Bio-GNL dans les transports réduirait considérablement la production de CO<sub>2</sub> par rapport aux carburants traditionnels. Selon les données fournies par le Freight Leaders Council (2019), en supposant l'utilisation d'un mélange composé de 20% de bio-GNL et de 80% de GNL traditionnel, le pourcentage de réduction, évalué en [gCO<sub>2</sub>-eq / km], passerait de 15% à 28% par rapport aux carburants traditionnels.

Dans le but de diffuser l'utilisation du Bio-LNG dans la chaîne de transport, l'accord de coopération entre le Consortium italien du biogaz, Confagricoltura, Eni, FPT Industrial, IVECO, New Holland a été signé récemment (18/04/2019) Agriculture et Snam on biométhane. L'accord a une durée de trois ans et initie une collaboration entre les parties dans le développement de la mobilité durable, également à travers le lancement en partenariat d'initiatives et de projets sur le biométhane à destination des entreprises de la chaîne d'approvisionnement et la promotion de politiques d'accompagnement du public l'administration et le législateur.

Le premier accord a récemment été conclu pour l'utilisation du Bio-GNL dans le transport routier, signé par la société de logistique et de transport Maganetti de Valtellina et la coopérative agro-zootechnique Speranza di Candiolo (TO) qui regroupe 8 exploitations.

L'accord sur la chaîne d'approvisionnement prévoit la production de biométhane liquide à partir de déchets animaux et de résidus de production agricole. L'usine est en construction et devrait être mise en service fin 2019, pour un total de 2000 tonnes par an de méthane liquéfié qui couvrira plus de 100% des besoins de la flotte de l'entreprise.

Le biométhane liquide sera acheminé vers le point de ravitaillement de Maganetti à Gera Lario (Côme) à la disposition de la flotte de tracteurs routiers au GNL du groupe.

#### 4.5.1 APPLICATIONS POSSIBLES DANS LE CONTEXTE LIGURIEN

Afin d'évaluer l'estimation de la demande potentielle de biomasse pouvant être utilisée pour la production de biométhane en Ligurie, compte tenu de la faible possibilité d'utiliser des sources dérivant du secteur agro-alimentaire (résidus agricoles et déchets d'élevage in primis), les principaux il a été fait référence aux plans métropolitains et régionaux de gestion des déchets, dans lesquels les quantités de déchets produits dans la zone territoriale de la région de la Ligurie et la projection prévisionnelle jusqu'en 2020 ont été identifiées.

Au niveau régional, avec une référence particulière aux besoins organiques globaux issus de la collecte sélective des déchets, une demande égale à 170000 t / an a été enregistrée pour 2017 et les estimations des besoins de traitement FORSU envisagés une fois pleinement opérationnels ont été mises à jour en parallèle. 2020, entre 190 000 et 210 000 t / an (en fonction des prévisions de respect des objectifs de réduction de la production totale de déchets urbains et des objectifs minimaux de collecte sélective).

Pour la seule zone métropolitaine de Gênes, le besoin potentiel estimé en 2020 est d'environ 90000 t / an, à satisfaire au moyen d'une usine de digestion anaérobie d'une capacité de 60000 t / an, à partir d'une série d'usines de compostage à proximité ( 3 000-4 000 t / an) et des synergies fonctionnelles avec les usines existantes ou toute installation supplémentaire d'environ 30 000 t / an.

Sur la base des besoins régionaux estimés, un besoin d'usine d'au moins 4 usines de digestion anaérobie (DA) à construire sur le territoire régional a été évalué. Nettes des évaluations concernant la localisation des usines possibles, les usines de bio-digestion pour le traitement des OFMSW supposées répondre aux besoins attendus varient d'une capacité de 30 000 à 60 000 t / an.

Pour la taille de 60000 t / an, les coûts d'investissement globaux s'élèvent à des valeurs comprises entre 18-24 millions d'euros (300-400 € / t traitée), pour la taille de 30000 t / an, en raison des déséconomies d'échelle, l'augmentation attendue des coûts d'investissement est estimée à plus de 30% des coûts par tonne de déchets traités (pour un investissement total d'environ 12 à 16 millions d'euros).

La possibilité de construire des usines de liquéfaction du biogaz produit par ces usines de digestion pourrait être évaluée en vue de contribuer au développement du réseau de distribution de GNL pour le transport maritime et terrestre en Ligurie, au moins dans une phase initiale.

En effet, la construction d'une unité de liquéfaction de petite à moyenne taille permettrait de compter sur un élément d'infrastructure important qui permettrait à la fois la production de GNL sur site et la gestion du gaz Boil-Off par re-liquéfaction.

Les unités de liquéfaction de petite taille ont généralement une capacité de production comprise entre 35 et 135 m<sup>3</sup> de GNL par jour, ce qui implique une consommation de gaz naturel de 900 à 3 600 m<sup>3</sup> (n) / h. Les unités de liquéfaction de taille moyenne ont généralement une capacité de production de 270 à 2 000 m<sup>3</sup> de GNL par jour, ce qui implique une consommation de gaz naturel de 7 200 à 54 000 m<sup>3</sup> (n) / h.

Comme déjà souligné ci-dessus, en plus de constituer une possible solution d'approvisionnement, l'avantage d'utiliser le Bio-GNL dans les transports assurerait une réduction supplémentaire des émissions de CO<sub>2</sub> et de gaz à effet de serre et une plus grande acceptabilité sociale des installations associées.

Le tableau ci-dessous montre, théoriquement <sup>2</sup>, la quantité de Bio-GNL qui pourrait être produite à partir des capacités de traitement annuelles des usines de digestion (AD) qui peuvent être émises au niveau régional. Les options d'usine qui peuvent être émises au niveau régional pourraient garantir une production de Bio-GNL égale à environ 3700 m<sup>3</sup> / an (dans le cas d'un seul digesteur d'une capacité de 30 000 t / an), 7400 (dans le cas d'un digesteur unique d'une capacité de 60 000 t / an), 22 100 (dans le cas de 2 digesteurs d'une capacité de 30 000 t / an et de 2 digesteurs d'une capacité de 60 000 t / an).

Compte tenu de la possibilité de charger et de distribuer du Bio-GNL par tanker (avec une capacité moyenne supposée de 45m<sup>3</sup>), dans les trois différentes options émises, 80 tankers / an pourraient être remplis dans le premier cas (1,6 tankers par semaine), dans le second cas de plus de 160 (3,2 pétroliers par semaine) et dans le troisième cas de plus de 490 (9,5 pétroliers par semaine).

Ces volumes permettraient de fournir:

- dans la seconde hypothèse: un petit navire (besoin estimé de GNL: 150m<sup>3</sup> / semaine) comparable au ferry rapide GNL construit par Caronte & Tourist;
- dans la troisième hypothèse: environ 3 petits navires ou un navire de taille moyenne (besoin estimé de GNL: 400m<sup>3</sup> / semaine) comparable à un ferry.

Les scénarios ci-dessus sont présentés dans les tableaux suivants.

---

<sup>2</sup> Les paramètres suivants ont été utilisés pour calculer les valeurs équivalentes:

- Production spécifique de Biogaz par tonne traitée = 120 Nm<sup>3</sup> / t, source: opérateurs du secteur;
- ratio m<sup>3</sup> biométhane / m<sup>3</sup> biogaz: 0,6, source: opérateurs du secteur;
- ratio m<sup>3</sup> biométhane / m<sup>3</sup> Bio-LNG = 1/585, source Union internationale du gaz (UGI)

Tableau 22: Hypothèses de la station d'épuration de biométhane et volumes associés de Bio-GNL produits

Hypothèses		Capacité per an	Biogaz produit	Biométhane produit	Bio-GNL produit
		t/a	Nm <sup>3</sup> /a	Nm <sup>3</sup> /a	m <sup>3</sup> /a
1 plante	capacité 30.000 t/a	30.000	3.600.000	2.160.000	3.692,3
1 plante	capacité 60.000 t/a	60.000	7.200.000	4.320.000	7.384,6
2 plante	capacité 60.000 t/a	180.000	21.600.000	12.960.000	22.153,8
2 plante	capacité 30.000 t/a				

Tableau 23: Hypothèses d'usine pour le traitement du biométhane et approvisionnements équivalents en Bio-GNL

Hypothèses		Bio GNL produit	Pétr. GNL	Pétr. GNL	Petits navirees (150m <sup>3</sup> /semaine)	Moyennes Navirees (400m <sup>3</sup> /semaine)
		m <sup>3</sup> /a	n/a	n/sett.	n	N
1 plante	capacité 30.000 t/a	3.692,3	82	1,6	0,47	0,18
1 plante	capacité 60.000 t/a	7.384,6	164	3,2	0,95	0,36
2 plante	capacité 60.000 t/a	22.153,8	492	9,5	2,84	1,07
2 plante	capacité 30.000 t/a					

Outre la demande potentielle de biomasse issue du cycle des déchets (FORSU), une autre perspective intéressante est représentée par la possibilité de conférer en plus de ces sources également la fraction organique et biodégradable issue de la collecte séparée de la fraction humide des passagers. navirees et ferries et activités portuaires.

Bien qu'il s'agisse d'une production plutôt limitée en termes de volumes qui ne rend pas la construction d'une usine dédiée à la biodigestion économiquement durable, elle pourrait être exploitée comme une éventuelle contribution supplémentaire au traitement de l'OFMSW dans le but de maximiser le principe d'économie circulaire et efficacité dans la gestion du cycle des déchets. En outre, grâce à des accords et des politiques de soutien, il serait possible d'augmenter ces volumes de collecte dans les années à venir.

A cet effet, en référence au port de Gênes, les types et quantités associées (t / an) de déchets compatibles d'origine navale qui pourraient être destinés à la production de Bio-GNL sont listés

ci-dessous. Dans ce cas, les valeurs de production spécifiques de Biogaz par tonne traitée ont également été mises à jour (valeurs comprises entre 50 et 200 Nm<sup>3</sup> / t). Ces quantités (environ 800 tonnes en 2015) permettraient de ne générer que 2 pétroliers / an de Bio-GNL.

*Tableau 24: types et quantités de déchets produits par les navirees dans le port de Gênes compatibles avec le traitement de bio-digestion*

<b>CER</b>	<b>DESCRIPTION</b>	<b>2013 (t)</b>	<b>2014 (t)</b>	<b>2015 (t)</b>
02.03.04	DÉCHETS DE LA PRÉPARATION ET DE LA TRANSFORMATION DES ALIMENTS (fruits, légumes, céréales, huiles alimentaires, cacao, café, thé et tabac; provenant de la production d'aliments en conserve; de la production de levure et d'extrait de levure; de la préparation et de la fermentation de mélasse)	0,0	0,0	5,8
02.07.04	Déchets provenant de la production de boissons alcoolisées et non alcoolisées (à l'exception du café, du thé et du cacao)	0,0	0,0	5,7
16.03.06	Produits hors spécifications et produits inutilisés. DÉCHETS ORGANIQUES DIVERS	0,2	0,1	1,2
20.01.08	Fractions soumises à une collecte séparée. DÉCHETS BIODÉGRADABLES DES CUISINES ET DES BOÎTES	0,0	40,3	685,8
20.01.25	Huiles et graisses comestibles	29,5	38,8	77,1
20.03.04	Boues de fosses septiques	10,0	0,0	21,0
<b>totale déchets compatibles</b>		<b>39,7</b>	<b>79,2</b>	<b>796,6</b>

Source: Plan de gestion de la collecte des déchets du port de Gênes (2018)

*Tableau 25: production de biogaz et de bio-GNL par type de déchets traités*

CER	2015 (t)	<i>Biogas prod. Specificque</i>	<i>Biogas produit</i>	<i>Biométhane produit</i>	<i>Bio GNL produit</i>	<i>Pétr. GNL</i>
		Nm <sup>3</sup> /t	Nm <sup>3</sup> /a	Nm <sup>3</sup> /a	Nm <sup>3</sup> /a	n/a
02.03.04	5,8	150	863	518	0,9	0,0
02.07.04	5,7	200	1.148	689	1,2	0,0
16.03.06	1,2	100	122	73	0,1	0,0
20.01.08	685,8	120	82.298	49.379	84,4	1,9
20.01.25	77,1	110	8.486	5.092	8,7	0,2
20.03.04	21,0	50	1.048	629	1,1	0,0
				<b>56.378,3</b>	<b>96,4</b>	<b>2,1</b>

## 5. ANALYSE DES SOLUTIONS POSSIBLES QUI PEUVENT ÊTRE ADOPTÉES DANS LE CONTEXTE LIGURIEN

Ce chapitre propose une analyse des différentes solutions technologiques pouvant être adoptées et des différents scénarios de développement se référant au contexte ligurien, dans le cadre des hypothèses d'évolution du réseau GNL national et occidental de la Méditerranée.

En particulier, l'analyse a été menée en parallèle sur les trois profils différents suivants:

- ANALYSE DE SCÉNARIO, se référant principalement aux scénarios de macro-développement à court, moyen et long terme et aux aspects de concurrence-complémentarité intra-régionale. Cette analyse comprend les évaluations des différentes estimations de la demande maritime potentielle rapportées au chapitre 2.1 et évaluées en référence aux différentes solutions de centrales terrestres;
- ANALYSE SWOT, se référant principalement aux avantages et inconvénients découlant de l'adoption éventuelle des différentes solutions technologiques disponibles
- ANALYSE QUALITATIVE, se référant principalement à l'analyse des différentes solutions qui peuvent être suivies dans le contexte ligurien en référence à des paramètres d'évaluation qualitative tels que la complémentarité avec d'autres projets de réseau, l'acceptabilité sociale, la complexité des processus d'autorisation, la disponibilité d'espaces portuaires adéquats, etc.

Les résultats des différentes analyses sont décrits en détail dans les paragraphes suivants et les principales constatations sont incluses dans le dernier chapitre.

### 5.1 ANALYSE DES MACRO-SCENARIOS

#### 5.1.1 PHASE DE START-UP DU RESEAU

Dans la première phase de démarrage du réseau, la complémentarité des infrastructures fixes et mobiles impliquées est élevée, la demande de GNL à usage maritime envisagée dans cette phase initiale est encore à l'état embryonnaire et la zone de chaque port est plus étendue.

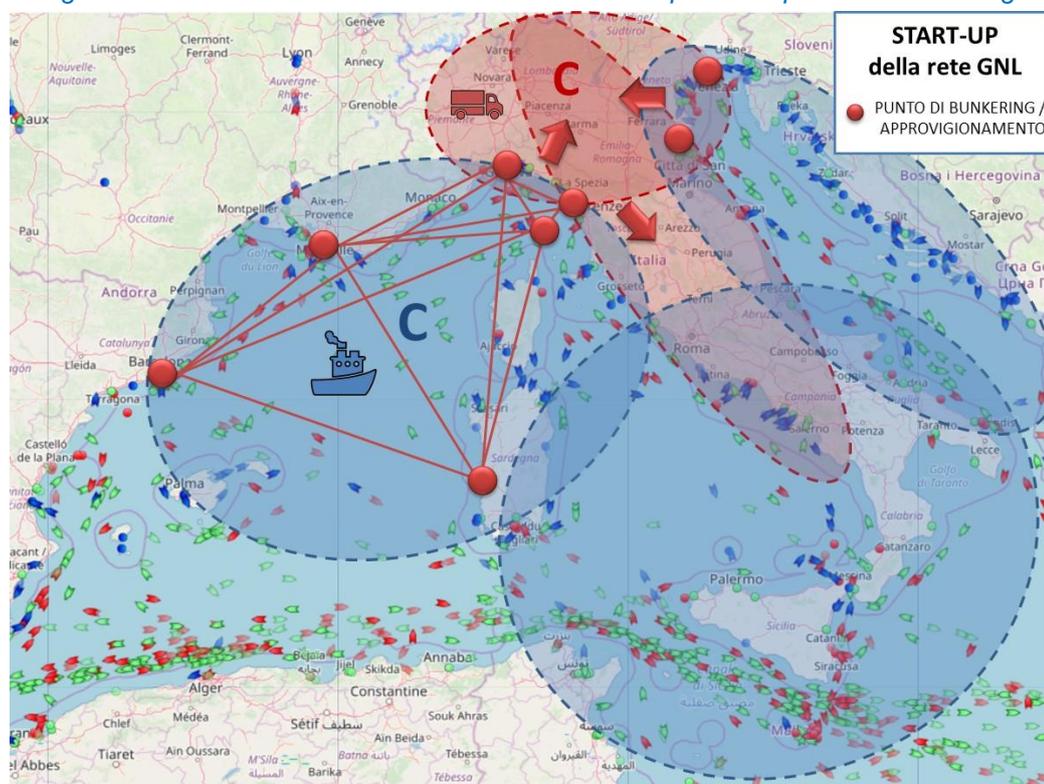
Au niveau national, dans cette première phase, il est possible de faire l'hypothèse d'une structure de réseau basée sur trois sous-réseaux principaux, attribuables à ceux identifiés par le QSN, et plus précisément:

- le réseau de la mer Tyrrhénienne-Ligure
- le réseau Adriatique
- le réseau du centre et du sud de l'Italie

La zone concurrentielle de référence du Cluster Ligurien est également étendue, se développant de Barcelone à la Sardaigne et au nord de la mer Tyrrhénienne.

Dans cette phase, les ports des zones limitrophes (Barcelone, Marseille, Livourne) représentent à la fois une opportunité d'approvisionnement aisé en GNL pour la fourniture de services de ravitaillement dans les ports, et un élément de forte concurrence sur l'offre de ces derniers. Les mêmes services, ce qui constitue un avantage concurrentiel par rapport au système portuaire de la Ligurie en raison de la possibilité de fourniture directe à partir des terminaux / dépôts portuaires concernés.

*Figure 75: Schéma de la structure du réseau dans la première phase de démarrage*



En attendant la construction d'infrastructures terrestres primaires (dépôts côtiers), les quelques unités navales propulsées au GNL qui devraient naviguer dans la zone dans un futur proche (2019-2020) pourront être ravitaillées via des infrastructures de services mobiles (bunker-barges pour navirees de taille moyenne à grande et systèmes au sol simultanés pour les navirees de petite et moyenne taille). Dans cette phase, l'utilisation de la capacité de transport et de ravitaillement des navirees de soutage sera maximisée qui, une fois chargés dans les terminaux d'importation de la zone (Barcelone, Marseille, OLT une fois l'adaptation terminée), pourront opérer dans tout l'arc Tirreno-Ligure, effectuer des opérations à la fois d'approvisionnement en gisements côtiers (par exemple le terminal HIGAS à Oristano) et de soutage de naviree à naviree dans les ports et au large, selon les besoins.

Dans cette configuration, donc, un rôle crucial est joué par les infrastructures mobiles (terrestres et maritimes) adaptées à la réalisation d'opérations de ravitaillement en cas de besoin dans les différents sites du réseau tyrrhénien-ligure, garantissant un haut degré de flexibilité et d'adaptation aux conditions changeantes du marché. .

En ce qui concerne le secteur foncier, la demande en expansion rapide générée par le secteur des transports routiers représentera le moteur du développement des infrastructures terrestres et de leur durabilité économique et financière.

Le développement contextuel des terminaux sur la rive Adriatique (dépôts de Ravenne et de Venise) se traduira par la zone contestable du centre-nord de l'Italie, favorisant le développement d'un contexte de marché concurrentiel, tandis que la pénétration sur les marchés du centre-sud de l'Italie sera facilitée, en " attendant la construction de terminaux de distribution dans ces zones.

En référence au contexte tyrrhénien-ligure, dans cette première phase, le système des éléments suivants est prévu:

- les infrastructures d'importation déjà opérationnelles et en construction (terminaux à Barcelone, Marseille et OLT);
- infrastructures terrestres mobiles (camions-citernes - citerne ISO);
- infrastructures mobiles au sol pour de multiples opérations de ravitaillement (skid-connecteurs)
- infrastructure de soutage mobile (bunker / barge);
- Gisements côtiers de référence pour la macro-zone d'intérêt (mer Tyrrhénienne-Ligure), y compris les petits gisements côtiers en construction (gisement HIGAS à Oristano) et en phase d'autorisation (projet de terminal GNL de Livourne à Livourne).

Le tableau suivant indique les hypothèses relatives au développement des infrastructures et unités au sol utilisées pour la fourniture et la distribution de GNL pour la zone ligurienne comprise entre les ports de Savone et La Spezia, en indiquant l'estimation des besoins financiers associés qui est attestée dans le «environ 40 à 60 millions d'euros.

Dans la phase de démarrage du réseau de GNL de la Ligurie, en attendant la construction de gisements côtiers de taille moyenne à grande, pour garantir la possibilité de fournir des

navirees de taille moyenne et grande (par exemple, des croisières et des ferries), il est possible de prévoir le besoin d'une infrastructure et équipement consistant en un système pour une connexion terrestre multiple et simultanée entre les camions et les navirees et un naviree de soutage de taille moyenne et une petite barge utilisée pour les opérations de ravitaillement de naviree à naviree. En appui au développement du marché du GNL lié au secteur du transport routier, il y a l'hypothèse de la mise en place de deux stations-service GNL pour une utilisation directe des flottes de poids lourds appartenant aux bassins portuaires liguriens (par exemple situées au service du ports de Gênes - je vais et La Spezia).

*Tableau 26: Schéma de principe de la structure du réseau dans les phases de développement du réseau ligurien et des besoins financiers associés (millions d'euros)*

<b>Elemento</b>	<b>N. unità</b>	<b>Investimento (mil €)</b>
<i>deposito portuale 10.000m3</i>	0	35-45
<i>bunker ship (5.000-10.000)</i>	1	30-40
<i>bettolina (1.500-3.000)</i>	1	10-20
<i>sistemi simultanei TTS</i>	1	0,5-0,8
<i>stazione GNL in ambito portuale</i>	2	0,6 - 1
<b>totale fase START-UP</b>		<b>41,7-62,8</b>

## 5.1.2 PHASES DE DÉVELOPPEMENT DE RÉSEAU INTERMÉDIAIRE (MISE À L'ÉCHELLE) ET FINALE (ROLL-OUT)

Par rapport à la phase initiale de démarrage du réseau, une augmentation progressive de la demande maritime et des infrastructures terrestres associées est attendue, accompagnée d'une réduction simultanée de l'extension géographique du bassin de référentiel concurrentiel pour le marché du soutage maritime. Au cours de cette phase, une décomposition du réseau national en sous-réseaux plus petits est envisagée, attribuable aux principaux ports maritimes et centres de soutage.

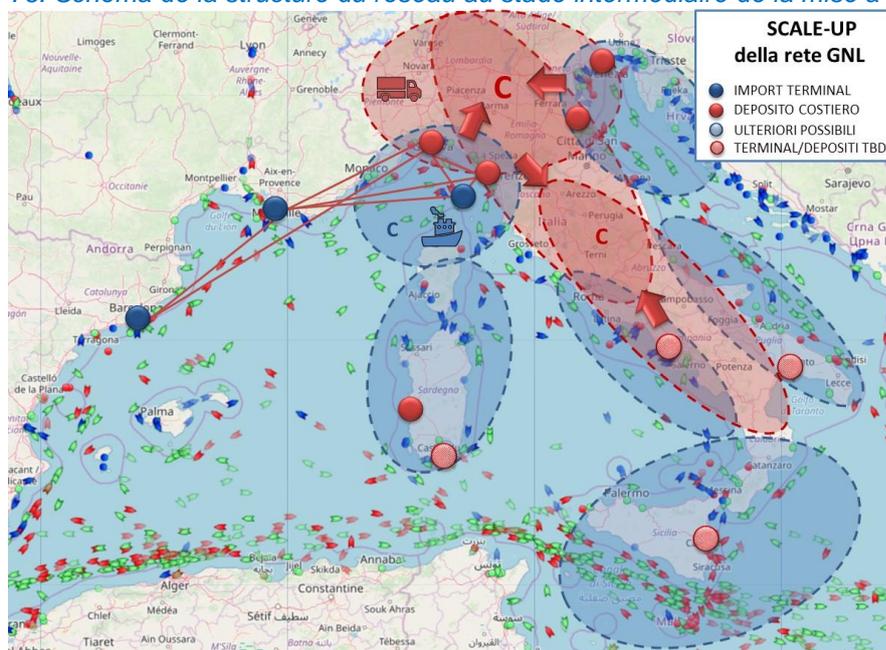
Dans la phase intermédiaire (scale-up) une situation de forte complémentarité / compétitivité peut persister avec les infrastructures mobiles (chaîne logistique via ISO-Tank, camions-citernes et équipements pour liaisons multiples et navires de soutage) et fixes (dépôts côtiers) de la Tyrrhénienne zone -Ligurie, comprise entre les bassins portuaires entre les ports de Savone et Livourne.

La présence des terminaux de Barcelone et de Marseille dans cette seconde phase pourrait représenter un élément de moins de compétitivité et de plus grande complémentarité par rapport au réseau ligurien en termes de possibilité de ravitaillement des navires de soutage comme alternative aux terminaux d'importation voisins (OLT et éventuellement Panigaglia) et les gisements des zones côtières voisines, où ils ont été construits.

Chaque sous-réseau aura tendance à être structuré en prévoyant la mise en œuvre d'infrastructures terrestres primaires plus importantes, avec au moins un stockage côtier de 10000 m<sup>3</sup> par réseau, desservies par des méthaniers dédiés et flanquées de navires de soutage et / ou de barges de petite et moyenne taille dédiée. à l'usage exclusif du soutage maritime intra-port.

Dans cette phase, la part de marché terrestre représentera encore une part importante de la demande de GNL traitée par les terminaux primaires côtiers, malgré l'augmentation attendue des volumes dans le secteur du soutage maritime. Dans l'intervalle, le marché foncier du centre-sud de l'Italie se sera davantage développé et sera en même temps devenu contestable suite au développement du réseau d'infrastructure foncière primaire prévu dans ces zones.

Figure 76: Schéma de la structure du réseau au stade intermédiaire de la mise à l'échelle



Dans la configuration finale du réseau, les bassins d'influence auront tendance à s'installer autour des principaux ports de commerce et des principaux pôles de soutage, retraçant la configuration actuelle du réseau desservant les opérations de soutage traditionnelles, constitué d'un système de principaux ports de ravitaillement qui approvisionnent, par la navigation côtière à courte distance, les ports voisins, les ports dits «affluents».

Les dépôts côtiers primaires auront la possibilité d'étendre et de doubler ou tripler les capacités jusqu'à la configuration de 20 000 et 30 000 m3. Le réseau de stations au sol peut inclure l'adaptation ou la nouvelle construction de stations GNL dans tous les principaux bassins portuaires (Savona-Vado, Gênes Voltri, Gênes Sampierdarena et La Spezia).

Il est intéressant de noter l'alignement entre la structure du réseau desservant les opérations de soutage traditionnelles avec l'hypothèse d'un scénario final de réseau national de GNL (illustré à la figure 76) qui envisage deux principaux pôles de soutage pour chacun des réseaux tyrrhéniens-liguriens. Et Adriatica, de manière similaire à la structure actuelle du réseau désignée par le soutage traditionnel.

Dans cette structure définitive, les ports liguriens pourront compter sur une zone de chalandise consolidée et complémentaire par rapport aux ports voisins de Livourne et de la Méditerranée occidentale. Chaque sous-réseau et bassin portuaire «hub» sera équipé de gisements côtiers primaires de taille moyenne à grande, principalement dédiés au soutage maritime, et d'une chaîne de soutien logistique très structurée, avec la possibilité d'une éventuelle augmentation du nombre d'importations de référence aptes à offrir des services de GNL à petite échelle.

La figure suivante montre la schématisation de la structure aux différents stades de développement du réseau ligurien, identifiant les unités d'infrastructure hypothétiques et les besoins financiers associés.

Par rapport à la phase de «démarrage», les phases de «scale-up» et de «déploiement» pourraient entraîner la nécessité d'investissements supplémentaires de respectivement 35-45 et 90-75 millions d'euros.

Figure 77: Diagramme schématique de la structure du réseau dans les phases de développement du réseau ligurien et des besoins financiers associés (mil. Eur)

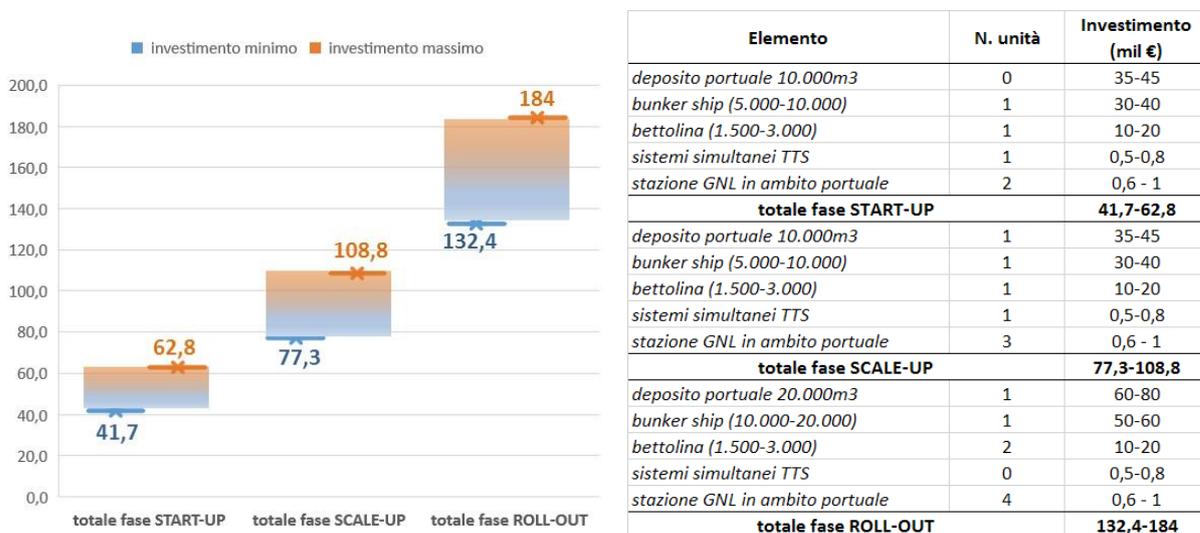


Figure 78: Schéma de la structure du réseau dans la phase finale de déploiement

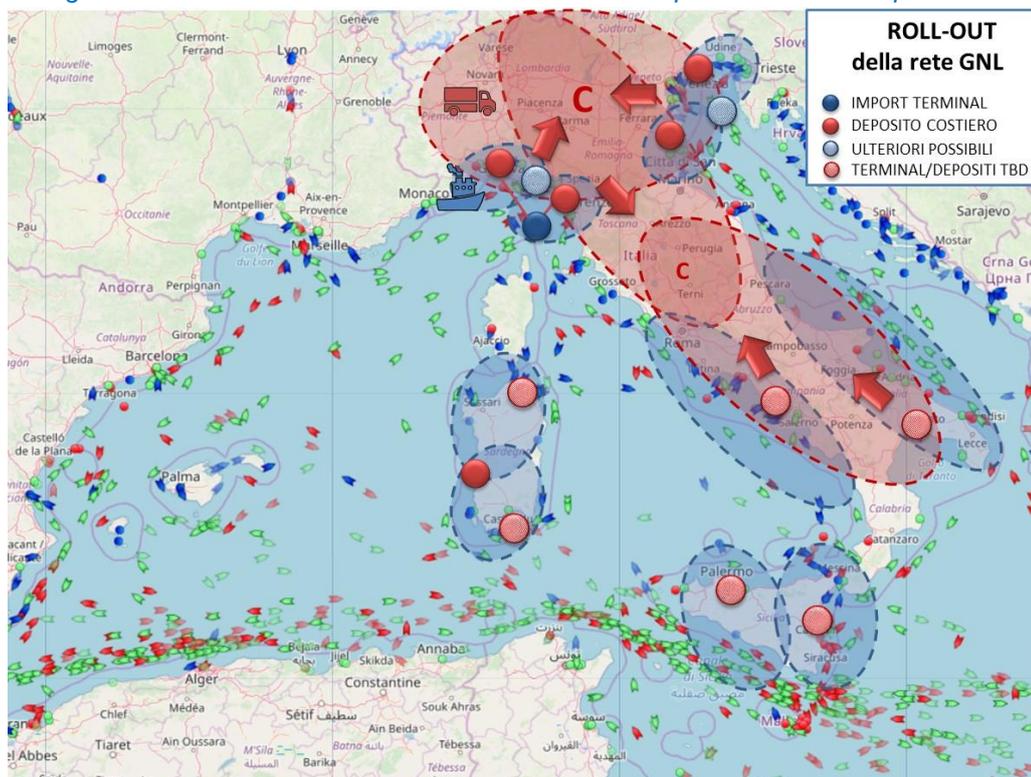
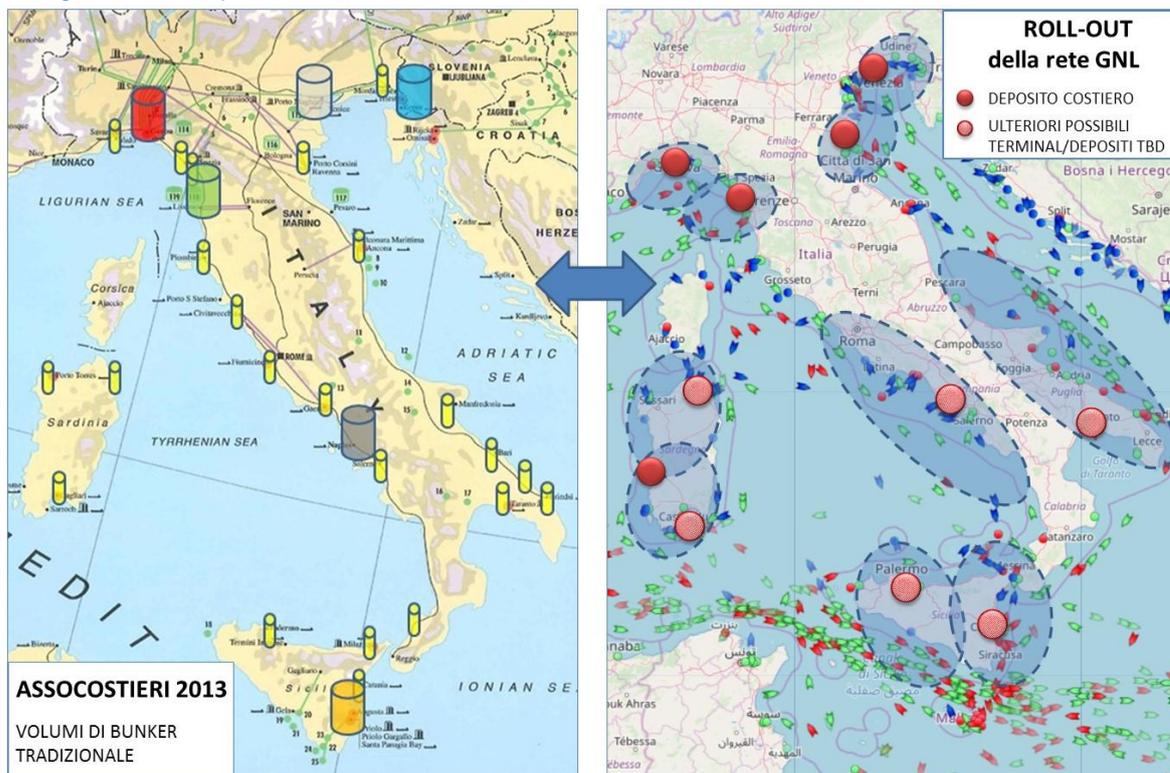


Figure 79: Comparaison des actifs du réseau final de GNL et du réseau de soutes traditionnel



### 5.1.3 CADRE DE LA DEMANDE MARITIME POTENTIELLE DE GNL ET D'INFRASTRUCTURES TERRESTRES CONNEXES

Cette étude n'a pas pour objectif de fournir une estimation supplémentaire de la demande potentielle de GNL dans le secteur maritime, mais de systématiser et de réaliser des évaluations de scénarios sur la base des études menées et des hypothèses déjà récemment formulées dans d'autres contextes et projets.

Le tableau suivant résume les différentes hypothèses relatives à l'évolution potentielle de la demande maritime de GNL rapportées au paragraphe 2.1.2, représentant, pour chaque scénario, la demande potentielle maritime annuelle exprimée en m<sup>3</sup> de GNL.

En référence notamment à la demande potentielle maximale de GNL calculée sur la base des volumes actuels de soutes traditionnelles manutentionnées dans les ports ligures, différentes hypothèses de pénétration du GNL ont été développées, formulant trois scénarios faisant référence à des pourcentages de remplacement de 5, 10 et 25% respectivement.

*Tableau 27: les différentes hypothèses de développement de la demande maritime potentielle de GNL*

Scénario	Demande potentielle maritime du GNL (m <sup>3</sup> )
Confitarma 2020	80.000
Remplacer 5% bunker trad.	178.750
GAINN bas	275.000
COSTA 2025	325.000
Remplacer 10% bunker trad.	357.500
GAINN haut	514.000
scénario haut ferries (Fundacion Valenciaport)	685.000
Remplacer 25% bunker trad.	893.750
Confitarma haut	970.000
Confitarma long	1.100.000

Du côté de l'offre, le tableau et les graphiques suivants présentent les données se référant aux différentes solutions d'installations onshore, en relation avec la construction de gisements côtiers, en termes de capacité annuelle globale d'approvisionnement et de distribution, le nombre relatif de navires pouvant être ravitaillés et des opérations d'avitaillement qu'ils peuvent garantir sur une base annuelle.

La capacité de distribution potentielle annuelle maximale des gisements côtiers a été calculée sur la base de l'hypothèse d'un approvisionnement par semaine équivalent à 75% de la capacité du gisement lui-même.

Le calcul du nombre de navires et des opérations de ravitaillement pouvant être satisfaites par chaque solution d'usine terrestre a été effectué sur la base des volumes d'avitaillement nécessaires pour ravitailler un grand (par exemple, bateau de croisière) et un navire de taille

moyenne (par exemple, un navire). ferry), estimés respectivement à 1 500 m<sup>3</sup> par semaine et 800 m<sup>3</sup> par semaine (quantité fournie via une seule opération de soutage).

En ce qui concerne le nombre de distributeurs terrestres potentiels (C-LNG) pouvant être desservis, la valeur moyenne de 3300 m<sup>3</sup> / an a été supposée comme l'exigence annuelle de chaque distributeur (égale à environ 1500 t / an et un approvisionnement d'environ 60m<sup>3</sup> par an). semaine).

Pour le mini-gisement côtier de 500m<sup>3</sup>, la valeur 0 a été attribuée au nombre d'opérations de soutage potentielles de navires moyens et grands en raison de l'impossibilité de pouvoir charger les volumes requis (respectivement estimés à 800 et 1500m<sup>3</sup> par opération unique de soutage. ).

Les données indiquées se réfèrent à la capacité maximale en termes de distribution de chaque usine, en supposant que celles-ci soient alternativement entièrement dédiées au transport maritime ou terrestre. Naturellement, les volumes relatifs de trafic traités varieront en fonction de l'évolution de la demande et du nombre d'infrastructures concurrentes présentes dans les différents réseaux GNL de la zone d'influence.

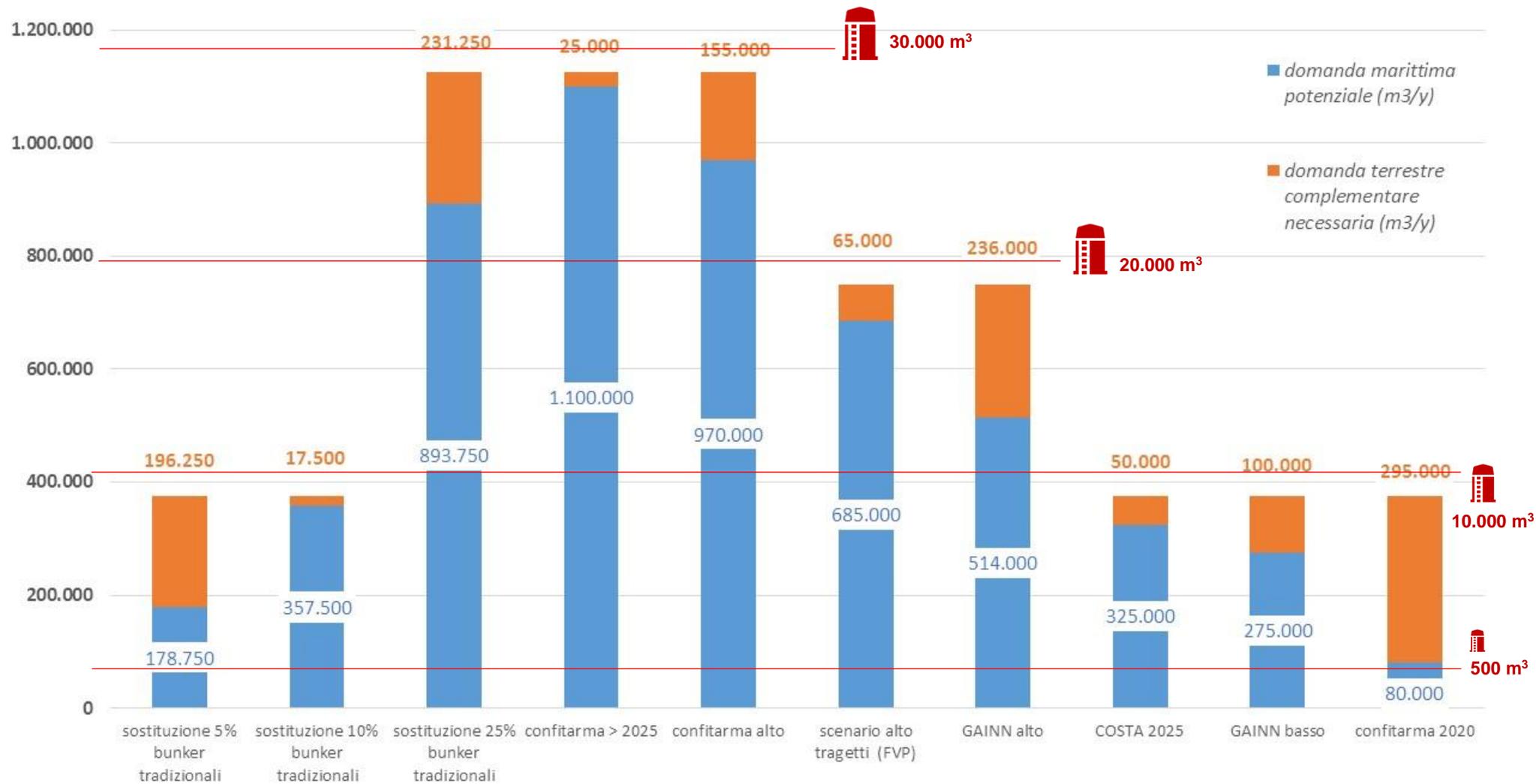
*Tableau 28: les capacités de distribution des différentes solutions de système au sol*

	<b>Demande maritime potentielle utilisable (m<sup>3</sup>/y)</b>	<b>Nombre de distributeurs potentiels servis</b>	<b>Nombre de grands navires potentiels desservis</b>	<b>Nombre de moyennes navires potentiels desservis</b>	<b>Nombre d'opérations potentielles de soutage de gros navires</b>	<b>Nombre d'opérations potentielles de soutage de moyennes-navires</b>
<b>terminal 500m<sup>3</sup></b>	20.000	6	0	0	0	0
<b>terminal 10.000m<sup>3</sup></b>	375.000	114	5	9	250	469
<b>terminal 20.000m<sup>3</sup></b>	750.000	227	10	18	500	938
<b>terminal 30.000m<sup>3</sup></b>	1.125.000	341	14	27	750	1406

les données se référant à la demande maritime potentielle et à la capacité de distribution des gisements côtiers, il a été possible de réaliser une première analyse de l'efficacité et de la fonctionnalité mutuelle et de l'adéquation de chaque hypothèse de centrale au sol en référence aux scénarios différents et changeants de la demande.

La figure suivante montre les valeurs se référant aux scénarios de demande potentielle de GNL à usage maritime, associant la capacité maximale relative nécessaire exprimée en termes de volumes pouvant être traités par chaque hypothèse à terre (500, 10 000, 20 000 et 30 000 m<sup>3</sup> ), avec addition de l'attribution de la part de la demande foncière nécessaire pour saturer la capacité maximale utilisable de l'usine si nécessaire.

Figure 80: les différents scénarios de la demande maritime potentielle de GNL en relation avec les différentes hypothèses de l'usine terrestre



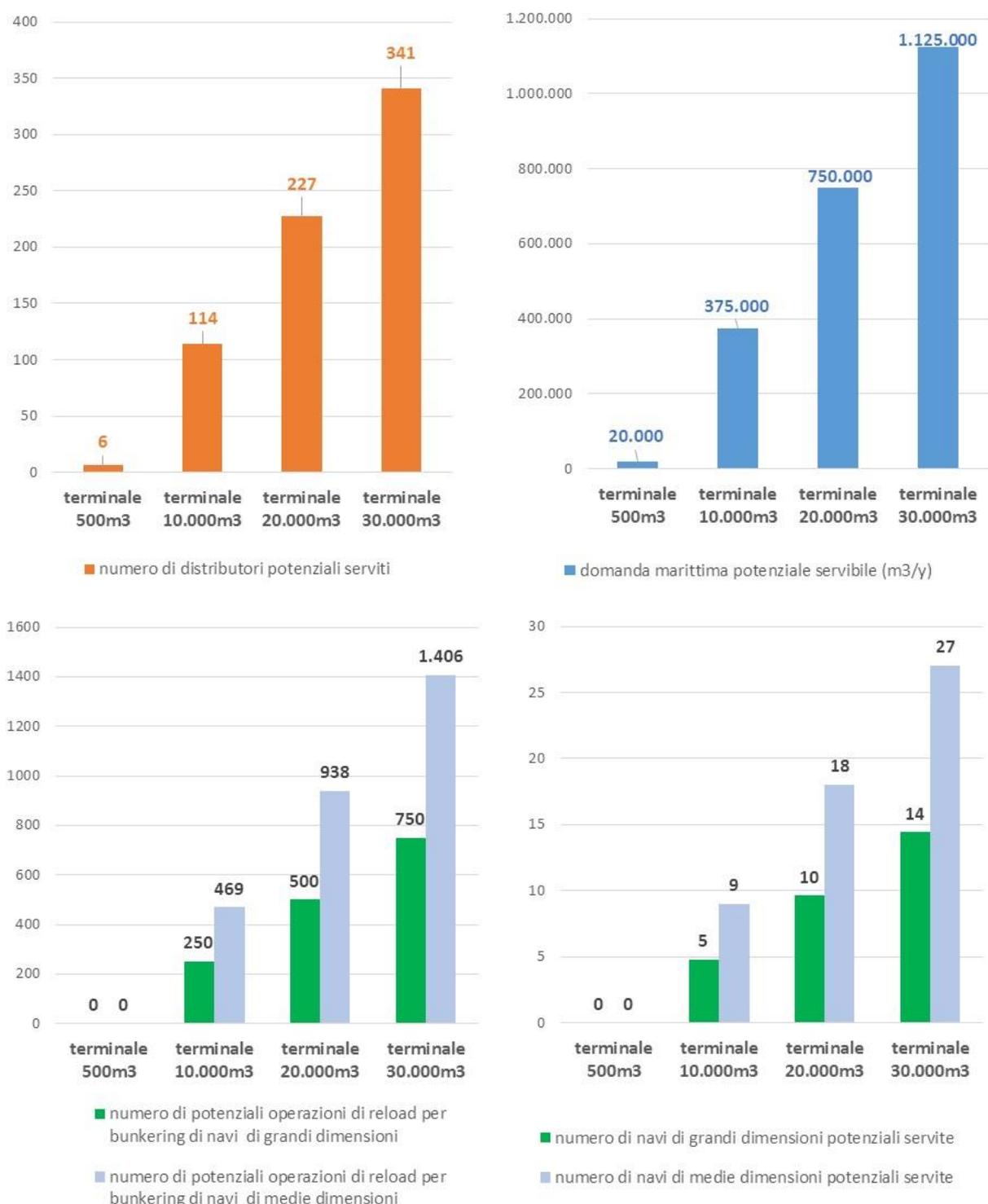
Comme il est possible d'analyser à partir de la représentation graphique, schématisée dans le tableau suivant, le plus grand nombre de scénarios hypothétiques (5) sont satisfaits par l'hypothèse végétale relative au gisement côtier de 10 000 m<sup>3</sup>, avec une capacité annuelle estimée d'environ 375 000 m<sup>3</sup> par année, moyen-long terme, pour une demande potentielle importante de GNL, une infrastructure au sol d'une capacité minimale de 20 000 m<sup>3</sup> (dans 2 scénarios) et 30 000 m<sup>3</sup> (dans 3 scénarios) est requise. La configuration de 30 000m<sup>3</sup> notamment est utile pour répondre aux besoins de tous les scénarios envisagés. Le petit terminal (500m<sup>3</sup>) à lui seul ne serait en mesure de répondre à aucun des scénarios prévus, mais il pourrait agir dans une première phase initiale comme un «tampon» portuaire capable de desservir des navires de petite et moyenne taille, des équipements portuaires et un réseau de terrain. stations, pour ensuite être «redimensionnées» au fil du temps pour répondre à l'évolution de la demande maritime de GNL.

*Tableau 29: les capacités de distribution des différentes solutions de système au sol*

Scenario di riferimento	demande potentielle estimée de GNL marin (m <sup>3</sup> / y)	demande maritime potentielle utilisable (m <sup>3</sup> /y)				demande terrestre complémentaire (m <sup>3</sup> /y)	nombre de stations-service équivalentes (n/y)
		terminal 500m <sup>3</sup>	terminal 10.000m <sup>3</sup>	terminal 20.000m <sup>3</sup>	terminal 30.000m <sup>3</sup>		
		20.000	375.000	750.000	1.125.000		
<i>Confitarma 2020</i>	80.000	X	V	V	V	295.000	84
<i>Remplacer 5% bunker trad.</i>	178.750	X	V	V	V	196.250	56
<i>GAINN bas</i>	275.000	X	V	V	V	100.000	29
<i>COSTA 2025</i>	325.000	X	V	V	V	50.000	14
<i>Remplacer 10% bunker tradizionali</i>	357.500	X	V	V	V	17.500	5
<i>GAINN haut</i>	514.000	X	X	V	V	236.000	67
<i>scénario haut ferries (FVP)</i>	685.000	X	X	V	V	65.000	19
<i>Remplacer 25% bunker trad.</i>	893.750	X	X	X	V	231.250	66
<i>Confitarma haut</i>	970.000	X	X	X	V	155.000	44
<i>Confitarma long</i>	1.100.000	X	X	X	V	25.000	7

Les chiffres ci-dessous montrent les données sur la capacité de distribution terrestre et maritime en relation avec les différentes tailles des gisements côtiers hypothétiques, sur la base des hypothèses rapportées ci-dessus (800/1 500 m3 par opération pour les navires moyens / grands et 3 300 m3 / an pour chaque C -Station au sol GNL).

*Figure 81: les capacités de distribution des différentes solutions de système au sol*



## 5.2 ANALYSE SWOT DES SOLUTIONS TECHNOLOGIQUES ADOPTABLES

Les matrices SWOT se référant aux solutions viables uniques ont été conçues à la fois pour être autonomes (et donc capables de fournir des éléments utiles pour leur évaluation en elles-mêmes), ainsi que pour faciliter la comparaison entre les différentes options.

En analysant de manière critique les lignes directrices de l'EMSA pour les différentes solutions de soutage, une comparaison a été faite, à travers l'analyse SWOT proposée ci-dessous, des solutions qui peuvent être adoptées pour le contexte considéré, telles que:

- Grand gisement (> 10 000m<sup>3</sup>)
- Entrepôt de taille moyenne (≈10.000m<sup>3</sup>)
- Petit dépôt portuaire (<500m<sup>3</sup>)
- Usine de bio-GNL (liquéfaction de petite à moyenne taille) dans le port (zone industrielle) ou dans les zones régionales voisines
- Système de ports de connexion simultanés multiples TTS
- Utilisation de camions-citernes ISO-Container
- Navire de soutage de GNL de taille moyenne (5000 à 7500 m<sup>3</sup>)
- Bettolina - petit navire de soutage (<3.000 m<sup>3</sup>)

En résumé, à partir des analyses SWOT menées, il apparaît clairement que le principal atout des solutions fixes sur terre comme les gisements côtiers de plus de 500 m<sup>3</sup> est de pouvoir être immédiatement adaptées pour répondre aux scénarios de développement de la demande envisagés dans le milieu. à long terme, en plus de la possibilité de desservir adéquatement le marché foncier en expansion rapide pour l'utilisation automobile. Au contraire, le petit dépôt portuaire ne serait pas en mesure de garantir l'approvisionnement de plus gros volumes de GNL et la possibilité de répondre à la demande maritime provenant de navires de taille moyenne à grande (ferries et croisières) qui sont également les premiers à entrer sur le marché. maritime à court terme.

Cependant, du point de vue des conditions structurelles locales (disponibilité d'espaces portuaires adéquats) et du point de vue économique, des investissements initiaux réduits, de la capacité à disposer de solutions facilement installables en peu de temps et de la durabilité relative même à faibles volumes de marché, sont les atouts qui caractérisent les solutions mobiles telles que le conteneur ISO (qui simplifie également les opérations grâce à l'absence de tuyaux et d'autres aspects exploités), le système de ports de connexion multiples simultanés TTS (qui peut également éliminer l'occupation permanente du sol) et petits gisements: toutes les options avec des volumes relativement faibles et qui pourraient potentiellement être achetées localement et / ou régionalement, même auprès d'usines Bio-GNL

Même en termes d'acceptabilité sociale, les petits gisements côtiers et les solutions mobiles sont les types d'infrastructures les plus facilement acceptables pour les communautés locales. La menace d'opposition des communautés locales pourrait être partiellement atténuée en

développant simultanément la chaîne d'approvisionnement à partir des usines de Bio-GNL qui, il est noté, pourraient jouer un rôle important également en termes d'augmentation de la compétitivité du port et des utilisateurs finaux. Mer côté (compagnies maritimes en premier lieu) et côté terre (transporteurs, utilisateurs industriels hors réseau) en termes d'image verte.

En outre, du point de vue de la menace, il est également noté comment les obstacles potentiels au processus d'autorisation sont communs à toutes les infrastructures au sol qui comprennent des installations fixes et qui sont généralement au-dessus du seuil de la directive Seveso.

Dans l'hypothèse à long terme dans laquelle le marché du GNL en tant que carburant alternatif devrait connaître une expansion telle qu'elle nécessiterait des volumes importants fournis de manière stable et constante, il est souligné que seuls les gisements de taille moyenne à grande seraient en mesure de résister à la concurrence, en évitant l'exclusion du marché par des terminaux plus grands capables d'offrir des tarifs plus compétitifs.

Le type d'infrastructure (mobile) capable d'absorber la plupart des avantages des différentes solutions, tout en minimisant bon nombre des menaces dérivant des conditions environnantes, semble être le navire de soutage, capable de garantir une flexibilité opérationnelle exceptionnelle et, sans nécessiter d'autorisations pour construction, peut agir en synergie avec les terminaux d'importation, les dépôts côtiers et les grands navires alimentés au GNL pour une flexibilité d'exploitation totale dans une zone géographique relativement étendue. Dans sa forme plus petite (et non propulsive possible, par exemple un ponton), le CAPEX devient également plus contenu, cependant, face à une capacité de ravitaillement plus faible (des voyages de chargement plus importants impliquant des coûts d'exploitation plus élevés) et une flexibilité opérationnelle cas d'une unité navale non propulsée).

Cependant, en vue de maintenir l'avantage concurrentiel dans le temps par le port, il faut prendre en compte la manière dont la nature mobile de ce type d'infrastructure de soutage de GNL permet à l'armateur de delocaliser ses unités.

Tableau 23: SWOT – Gros depots (>10.000m<sup>3</sup>)

Forces	Faiblesses
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Possibilité de ravitailler de plus gros volumes de GNL à un taux plus élevé</li> <li>– Convient pour répondre à la fois à la demande de camionnage et hors réseau, ainsi qu'à la demande de soutage maritime de grand volume</li> <li>– Bonne option pour les ports qui ont un soutage stable et à long terme</li> <li>– Dans un scénario de diffusion de GNL à grande échelle, une plus grande rentabilité des services proposés par rapport à des solutions plus importantes</li> <li>– Des économies d'échelle plus importantes dans la chaîne logistique et la possibilité d'offrir des tarifs plus compétitifs que les petits terminaux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Coûts d'investissement initial élevés</li> <li>– Besoin de volumes de marché élevés</li> <li>– Logistique complexe impliquant différents opérateurs et infrastructures (terminaux méthaniers, navire de soutage, dépôt, transport secondaire par pétroliers, client final)</li> <li>– Besoin de plus d'espaces portuaires que de petits gisements</li> <li>– Prix dépendant du marché mondial du GNL</li> <li>– Moins de complémentarité par rapport aux grands gisements situés dans les zones d'influence voisines</li> </ul>
Opportunités	Risques
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prédire la mise en œuvre par étapes pour suivre l'évolution du marché</li> <li>- Mettre en place une implication adéquate des parties et une campagne d'information pour éviter les problèmes dans le processus d'autorisation</li> <li>- Possibilité de distribuer du GNL également par chemin de fer</li> <li>- Utilisation de fonds européens et combinaison d'instruments financiers nationaux et européens pour améliorer la durabilité de l'investissement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Une plus grande complexité du processus d'autorisation</li> <li>– Prix dépendant du marché mondial du GNL</li> <li>– Il peut être difficile de recevoir de gros méthaniers dans le port pour approvisionner le terminal</li> </ul>

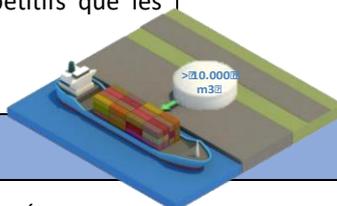


Tableau 31: Analyse SWOT - Stockage de GNL de taille moyenne (10000 m3)

Forces	Faiblesses
<ul style="list-style-type: none"> <li>- en configuration modulaire: disponibilité de solutions «clé en main», investissement initial réduit et temps de production réduits</li> <li>- dans la configuration modulaire: durable même à de faibles volumes de marché</li> <li>- Convient pour répondre à la fois à la demande de camionnage et hors réseau, et à la demande de soutage maritime, même pour les navires de taille moyenne à grande</li> <li>- Besoin de moins d'investissements et d'espaces portuaires par rapport à des dépôts plus importants</li> <li>- Une plus grande complémentarité avec les gisements côtiers situés dans les zones d'influence voisines</li> <li>- Opportunité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- dans la configuration modulaire, il est impossible de poursuivre l'évolution du marché avec une solution moyenne-grande (20 000-30 000 m3) en cas de croissance exponentielle de la demande</li> <li>- Réduction de la rentabilité de la solution proposée dans la configuration modulaire par rapport aux solutions de même taille dans un seul réservoir</li> <li>- Dans un scénario de diffusion de GNL à grande échelle, une moindre rentabilité des services proposés par rapport à des solutions plus importantes</li> <li>- En configuration mono-cuve: investissements initiaux plus élevés, surfaces disponibles et temps de construction</li> <li>- Besoin de volumes de marché élevés</li> <li>- Prix dépendant du marché mondial du GNL</li> <li>- Logistique complexe impliquant différents opérateurs et infrastructures (terminaux méthaniers, navire de soutage, dépôt, transport secondaire par pétroliers, client final)</li> </ul>
Opportunités	Risques
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modularité possible du système: prévoir dès la phase d'ingénierie préliminaire la possibilité d'étendre progressivement la capacité de stockage en fonction de l'évolution du marché;</li> <li>- Planifier une partie de l'approvisionnement à partir des usines de Bio-GNL locales ou dans les régions voisines</li> <li>- Possibilité de distribuer du GNL également par chemin de fer</li> <li>- Utilisation de fonds européens et combinaison d'instruments financiers nationaux et européens pour améliorer la durabilité de l'investissement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Une plus grande complexité du processus d'autorisation</li> <li>- Exclusion du marché par les grands acteurs et les grands terminaux capables d'offrir des tarifs plus compétitifs</li> <li>- Développement insuffisant de la demande de GNL nécessaire pour assurer l'équilibre économique et financier de l'investissement dans le temps</li> </ul>

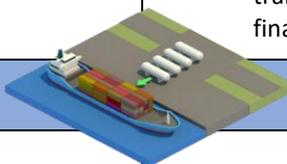


Tableau 32: Analyse SWOT - Petit dépôt portuaire (<500 m3)

Forces	Faiblesses
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Investissement initial réduit et disponibilité de solutions « clé en main »</li> <li>- Durable à de faibles volumes de marché</li> <li>- Convient pour servir le camionnage et la demande hors réseau</li> <li>- Possibilité de desservir des petits navires et des équipements portuaires convertis au GNL</li> <li>- Possibilité de s'approvisionner également entièrement auprès des usines de Bio-GNL locales ou dans les régions voisines</li> <li>- Besoin d'espaces portuaires plus petits que les grands entrepôts</li> <li>- Moins de complexité du point de vue de l'autorisation par rapport aux dépôts plus importants</li> <li>- Perception publique moins négative que les dépôts plus importants</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Extension de la capacité de stockage pas toujours réalisable</li> <li>- Impossibilité de suivre l'évolution du marché en cas de croissance exponentielle de la demande</li> <li>- Incapacité de servir des navires de taille moyenne à grande</li> <li>- Réduction de la rentabilité de la solution à moyen-long terme</li> <li>- Prix dépendant du marché mondial du GNL</li> <li>- Coûts d'infrastructure fixes élevés possibles de la zone par rapport aux coûts d'installation</li> <li>- La logistique d'approvisionnement ne convient pas aux navires de soutage de taille moyenne à grande</li> </ul>
Opportunités	Risques
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maximiser l'efficacité du transport intermodal de GNL en plaçant le petit dépôt à proximité des voies ferrées sur le quai / terminal</li> <li>- Ajouter une usine de production de Bio-GNL (biodigesteur + liquéfacteur) au dépôt, si elle n'est pas déjà présente dans les zones voisines</li> <li>- Utilisation de fonds européens et combinaison d'instruments financiers nationaux et européens pour améliorer la durabilité de l'investissement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exclusion du marché par les grands acteurs et les grands terminaux capables d'offrir des tarifs plus compétitifs</li> </ul>

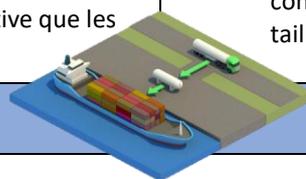


Tableau 33: Analyse SWOT - Système de ports de connexion simultanés multiples TTS

Forces	Faiblesses
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Flexibilité opérationnelle et logistique adaptée aux volumes de marché moyens;</li> <li>- Infrastructure limitée et exigences des quais;</li> <li>- Investissements initiaux réduits par rapport aux systèmes au sol fixes</li> <li>- Convient à la fois à la demande maritime et à la demande de camionnage et hors réseau</li> <li>- Possibilité de s'adapter aux besoins des clients en fonction des volumes requis</li> <li>- Capacité à s'adapter aux différentes exigences de sécurité</li> <li>- Occupation permanente limitée du terrain</li> <li>- Temps de ravitaillement plus courts avec les mêmes volumes distribués</li> <li>- Perception négative limitée du public</li> <li>- Plus grande rentabilité et adéquation dans la phase de démarrage du réseau</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plus grande rigidité sur les gros volumes</li> <li>- Taux de transfert limités (900-1200L / h)</li> <li>- Mouvement limité du côté du quai et possibilité de congestion à quai</li> <li>- Dépendance vis-à-vis des grands terminaux méthaniers terrestres</li> <li>- Transport secondaire via des camions-citernes qui doivent parcourir de longues distances pour atteindre le client final</li> <li>- Besoin de types particuliers de clients adaptés au transfert de volumes moyens et à des temps de manutention réduits au port</li> <li>- Une plus grande complexité d'organisation de la chaîne logistique</li> </ul>
<b>Opportunités</b>	<b>Risques</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilisation de plusieurs connexions pour garantir des volumes plus importants;</li> <li>- Utilisation du GNL comme carburant alternatif pour les pétroliers pour minimiser les émissions et accroître la perception sociale positive;</li> <li>- Fournir des voies d'accès dédiées / préférentielles pour les pétroliers</li> <li>- Possibilité de ravitailler des navires de taille moyenne</li> <li>- Possibilité d'utilisation directe du Bio-LNG</li> <li>- Possibilité d'effectuer des opérations simultanées (SIMOPS)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Compétitivité du mode navire à navire pour les navires de taille moyenne à grande</li> <li>- Plus grande complexité en termes d'autorisation par rapport à l'utilisation de pétroliers individuels</li> <li>- Réduction de la rentabilité à long terme</li> </ul>

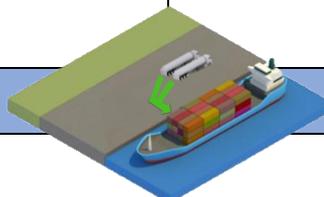


Tableau 34: Analyse SWOT - Utilisation de conteneurs-citernes ISO

Forces	Faiblesses
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Absence d'interface pour les opérations de soutage;</li> <li>- Simplification des opérations liées à l'absence de canalisations et autres aspects opérationnels</li> <li>- Logistique adaptée aux faibles volumes de marché</li> <li>- Convient pour le camionnage et les applications hors réseau</li> <li>- Grande flexibilité d'exercice</li> <li>- Investissements initiaux limités</li> <li>- Complexité limitée en termes d'autorisation</li> <li>- Perception négative limitée du public</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Connexions à bord dans le respect de normes de construction strictes</li> <li>- Convient uniquement aux types limités de navires</li> <li>- Logistique adaptée aux faibles volumes de marché</li> <li>- Plus grande rigidité sur les gros volumes</li> <li>- Dépendance vis-à-vis des grands terminaux méthaniers onshore européens</li> <li>- Transport secondaire via des camions-citernes qui doivent parcourir de longues distances pour atteindre le client final</li> </ul>
Opportunités	Risques
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les avantages potentiels liés à l'intermodalité;</li> <li>- Utilisation potentielle pour alimenter les centrales de cogénération dans le port</li> <li>- Possibilité de ravitailler les navires de petite et moyenne taille</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les avantages découlant de l'intermodalité ne sont pas réalisables en l'absence de liaisons ferroviaires adéquates dans le port.</li> </ul>

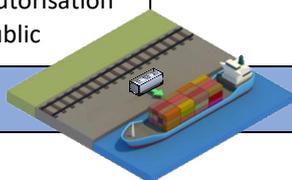


Tableau 35: Analyse SWOT - GNL des navires de soutage (par exemple, 5000 à 7500 m3)

Forces	Faiblesses
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Option plus avantageuse pour les navires avec des temps d'arrêt réduits au port</li> <li>- Capacité et taux de chargement supérieurs à la méthode TTS</li> <li>- Flexibilité opérationnelle: le ravitaillement peut avoir lieu à côté, avec le navire récepteur amarré, ancré ou à l'arrêt et même en dehors des limites du port</li> <li>- Ne nécessite pas de permis de construire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coûts d'investissement initial élevés liés à la conception, l'achat, la construction / la modernisation du navire</li> <li>- Économiquement moins compétitif pour le ravitaillement en carburant des petits et moyens navires</li> <li>- Prix dépendant du marché mondial du GNL</li> </ul>
Opportunités	Risques
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Synergie avec des dépôts dédiés et partage de l'unité entre plusieurs ports et plusieurs clients armateurs pour assurer une flexibilité opérationnelle totale</li> <li>- Utilisation de fonds européens et combinaison d'instruments financiers nationaux et européens pour améliorer la durabilité de l'investissement</li> <li>- Possibilité d'effectuer des opérations simultanées (SIMOPS)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Possibilité pour l'armateur de suivre des conditions contractuelles plus favorables avec en conséquence la relocalisation de l'unité dans des zones géographiques éloignées du port initial</li> <li>- Possibilité de limitations d'utilisation et d'amarrage par rapport aux configurations des eaux portuaires</li> </ul>

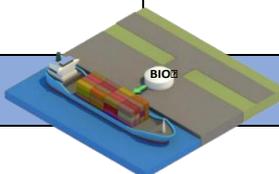
Tableau 36: Analyse SWOT - Barge / ponton GNL (par exemple 1000 - 3000 m3)

Forces	Faiblesses
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comparables à ceux des unités de navires ravitailleurs, auxquels s'ajoutent:</li> <li>- Réduction des coûts de construction;</li> <li>- Une plus grande flexibilité opérationnelle et moins de conditionnement par les restrictions portuaires.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dans le cas des unités non propulsées: dépendance des conditions météorologiques pour les opérations en dehors des eaux portuaires, ce qui pourrait être nécessaire pour les gros navires de passage;</li> <li>- Conditionnement de l'exploitation des remorqueurs portuaires en l'absence d'unités de remorquage dédiées;</li> <li>- Partage avec d'autres ports plus difficile à réaliser</li> <li>- Prix dépendant du marché mondial du GNL</li> </ul>
Opportunités	Risques
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Possibilité de charger des conteneurs ISO sur le pont;</li> <li>- Fournir une unité motrice dédiée, avec propulsion bicarburant LNG-MDO.</li> <li>- Utilisation de fonds européens et combinaison d'instruments financiers nationaux et européens pour améliorer la durabilité de l'investissement</li> <li>- Possibilité d'effectuer des opérations simultanées (SIMOPS)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Possibilité de souffrir de la concurrence des plus gros opérateurs et des navires de soutage capables d'offrir des tarifs plus compétitifs</li> <li>- Impossibilité de pouvoir faire le plein directement depuis les terminaux d'importation</li> </ul>



Tableau 37: Analyse SWOT - Installation de bio-GNL (liquéfaction de petite à moyenne taille)

Forces	Faiblesses
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Présence d'incitations à la production de BLG</li> <li>- Convient pour servir le camionnage et la demande hors réseau</li> <li>- Faible investissement initial</li> <li>- Stockage GNL de taille moyenne à petite (&lt;500 m3)</li> <li>- Durabilité économique même à de faibles volumes de marché</li> <li>- Convient pour servir le camionnage et la demande hors réseau</li> <li>- Perception sociale négative limitée</li> <li>- Augmentation de la compétitivité du port et des utilisateurs finaux côté mer (compagnies maritimes) et côté terre (transporteurs, utilisateurs industriels off-grid) en termes d'image verte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Extension de la capacité de stockage pas toujours réalisable</li> <li>- Impossibilité de suivre l'évolution du marché en cas de croissance exponentielle de la demande</li> <li>- Durabilité économique réduite en cas de résiliation des incitations</li> <li>- Logistique routière nécessaire pour la manutention depuis l'usine jusqu'à la livraison finale au quai, en cas d'implantation hors des limites du port.</li> <li>- Prix dépendant du gaz naturel s'il n'est pas connecté à des usines de biodigestion</li> </ul>
Opportunités	Risques
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Envisager la possibilité d'implanter l'usine dans des zones industrielles à l'intérieur des limites du port pour raccourcir la chaîne logistique et assurer la distribution également au secteur du transport maritime</li> <li>- Utilisation de fonds européens et combinaison d'instruments financiers nationaux et européens pour améliorer la durabilité de l'investissement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exclusion du marché par des terminaux plus grands capables d'offrir des tarifs plus compétitifs</li> <li>- Absorption de l'offre par des utilisateurs autres que ceux du secteur des transports</li> </ul>



### 5.3 ANALYSE QUALITATIVE DE LA FAISABILITÉ DES DIFFÉRENTES OPTIONS QUI PEUVENT ÊTRE ADOPTÉES DANS LE CONTEXTE LIGURIEN

L'analyse qualitative, basée sur le contexte géographique et socio-économique spécifique du territoire ligurien, a examiné, pour chacune des solutions technologiques hypothétiques, selon une échelle de notation (haut-moyen-bas) des éléments suivants:

- Complémentarité avec d'autres projets du réseau
- Acceptabilité sociale
- Montant de l'investissement
- Complexité de l'autorisation et de la procédure de réglementation
- Disponibilité d'espaces adéquats dans le port
- Convivialité par les utilisateurs
- Durabilité économique à court et moyen terme
- Durabilité économique à long terme

Il convient de noter que l'analyse détaillée nécessaire des différentes options, en particulier en ce qui concerne l'installation de petits, moyens ou grands gisements côtiers, doit être «spécifique au site» et accompagnée d'analyses spécifiques d'ingénierie et de faisabilité technico-économique, évaluant les coûts, bénéfices, avantages et limites de chaque solution, à la fois en référence aux différentes solutions technologiques (complémentaires / alternatives), et aux différents scénarios temporels (court, moyen et long terme) et aux emplacements possibles (par exemple pour les ports de Gênes et Savone, en analysant les spécificités, les avantages et les limites des localisations possibles dans la zone du bassin historique de Sampierdarena, dans le bassin Voltri ou dans le bassin Savona-Vado).

Les résultats de l'analyse qualitative sont essentiellement en ligne avec les appréciations issues de l'analyse SWOT et avec les macro-scénarios de référence identifiés dans la phase initiale.

D'un point de vue potentiel d'intégration avec d'autres projets GNL du réseau, les grands gisements côtiers seraient moins vertueux, dans la première phase d'expansion de la demande maritime (phase de démarrage du réseau), si des infrastructures primaires supplémentaires étaient déjà présentes. de terres dans les zones du bassin concurrentiel de référence.

D'autre part, les structures elles-mêmes sont les plus sensibles en termes d'acceptabilité sociale, à leur tour capables d'influencer le processus d'autorisation et de mise en œuvre de celles-ci. En raison de la perception actuelle du GNL comme un carburant présentant un certain degré de risque (notamment en ce qui concerne les grandes installations de stockage), les grandes interventions infrastructurelles doivent en fait permettre une comparaison publique large et réglementée avec les communautés locales et l'opinion publique, et c'est bien d'examiner attentivement la nécessité de prévenir les problèmes critiques liés au manque

d'information du public concerné et à la gestion des dynamiques de conflits potentiels dans la construction d'infrastructures individuelles.

Le critère relatif à l'effort d'investissement et à tout financement pour démarrer la mise en œuvre des interventions est directement lié à la dimension économique de celles-ci, rendant les solutions plus vertueuses qui peuvent être facilement installées ou peuvent être mises en place en peu de temps.

Important dans le contexte de l'aménagement du territoire et du port, le critère de la disponibilité d'espaces adéquats dans le port ou dans les zones voisines est d'une importance fondamentale et est particulièrement impactant pour les hypothèses de conception qui concernent à la fois les gisements côtiers de taille moyenne ) et des gisements plus petits pour lesquels il est utile et nécessaire de pré-structurer la zone portuaire en vue d'une éventuelle mise à l'échelle ultérieure du terminal. Au contraire, toutes ces solutions amovibles qui ne prévoient pas l'occupation permanente du terrain, sont plus vertueuses également en termes de convivialité par les utilisateurs finaux, miroir de flexibilité opérationnelle.

La durabilité relative, même à de faibles volumes de marché et des investissements initiaux moindres, sont les points forts qui permettent aux mini-dépôts, aux petites barges et aux systèmes de connexion simultanés multiples utilisant des conteneurs ISO ou des pétroliers d'avoir une plus grande durabilité économique. à court et moyen terme, une période période pendant laquelle, dans l'attente de l'évolution de la demande maritime de GNL, il est peu probable que des travaux majeurs puissent obtenir un retour complet sur l'investissement.

Du point de vue de la durabilité économique et financière à long terme, la plupart des solutions, et toutes celles de moyenne à petite échelle, seraient sous-optimales, car elles sont davantage sujettes à la concurrence sur le marché des grands les acteurs du marché opérant avec des structures capables de gérer des volumes plus importants.

Le tableau suivant présente l'analyse qualitative de la faisabilité des différentes options qui peuvent être adoptées dans le contexte ligurien. Échelle de notation (élevée-moyenne-faible).

Tableau 38: Analyse qualitative de la faisabilité des différentes options qui peuvent être adoptées dans le contexte ligure

Matrice	Complémentarité avec d'autres projets du réseau	Acceptabilité sociale	Entité d'investissement	Procédure d'autorisation de complexité	Disponibilité de adeguati spazi in porto	Disponibilité d'espaces adéquats dans le port	Durabilité à court terme	Durabilité à long terme
Gros depot (>10.000m <sup>3</sup> )	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Yellow	Orange	Green
Moyen depot (10.000m <sup>3</sup> )	Yellow	Yellow	Yellow	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
Petit Depot portuaire (<500m <sup>3</sup> )	Green	Green	Green	Yellow	Green	Yellow	Green	Orange
Plante Bio – GNL (liquéfacteur)	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Yellow
Système de ports de connexion simultanés multiples TTS	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow
Barge – small bunker vessel (1.000 -3.000 m <sup>3</sup> )	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow
LNG bunker vessel (5.000-7.500 m <sup>3</sup> )	Green	Green	Yellow	Green	Green	Green	Yellow	Green

## 6. CONSIDÉRATIONS FINALES

Le déficit infrastructurel dans le premier maillon de la chaîne d'approvisionnement en GNL est le principal problème critique pour le développement du marché dans l'arc tyrrhénien comme dans le reste de l'Italie.

En fait, les terminaux italiens n'autorisent actuellement pas le chargement de pétroliers et / ou de soutes qui livrent du GNL aux utilisateurs finaux. Cet obstacle peut être surmonté principalement grâce aux éléments suivants:

- La construction de gisements côtiers avec des services de soutage à petite échelle à partir de 2021;
- Adaptations des terminaux de regazéification tels que Panigaglia et OLT Offshore;
- La mise en service d'une ou plusieurs unités d'avitaillement naval (pontons ou soutes) qui pourraient également avoir une base dans d'autres ports méditerranéens.

La seule condition essentielle autosuffisante pour le développement du marché du soutage de GNL à petite échelle dans un avenir immédiat semble être précisément la volonté des opérateurs d'investir dans des navires de soutage comme infrastructure mobile pour l'approvisionnement en STS et pour alimenter les gisements côtiers.

À la fois de l'analyse des bonnes pratiques existantes et de l'évaluation critique des différentes options et technologies de soutage qui peuvent être adoptées dans le contexte ligure, il est cependant clair qu'il n'est pas envisageable de satisfaire tous les besoins des différents utilisateurs dans différents ports. (chacun avec ses propres spécificités) à travers un mode de transport et / ou de soutage unique, tout en garantissant l'efficacité en termes de coûts, la flexibilité opérationnelle, la livraison en temps opportun du GNL et la capacité à suivre progressivement l'évolution de la demande de GNL.

### 6.1 SCÉNARIO RELATIF À LA PHASE DE DÉMARRAGE DE L'APPLICATION

Dans le cas d'une demande extrêmement limitée et non régulière de GNL, les solutions d'approvisionnement routier, accompagnées de l'utilisation d'équipements de connexion simultanée, pourraient rester la seule option qui puisse être poursuivie immédiatement, en attendant la construction des unités mobiles maritimes (navires de soutage) et les dépôts primaires côtiers.

À ce stade, il serait souhaitable que les ports et / ou les opérateurs se dotent de solutions pour l'amélioration des opérations de transfert TTS, telles que les collecteurs mobiles ou skids analysés ci-dessus, qui permettent l'utilisation simultanée de plusieurs pétroliers / conteneurs ISO pour un soutage rapide de GNL même aux navires avec des réservoirs moyens (de l'ordre de 200 à 300 m3).

Pour répondre au besoin d'un minimum de stockage / tampon dans le port, toujours dans un scénario de demande limitée, il est possible de faire l'hypothèse:

- Désigner une partie des zones ADR (marchandises dangereuses) sur le quai comme zone de stockage temporaire pour les unités conteneurs ISO de 40 pieds (capable de maintenir une charge d'environ 50 m<sup>3</sup> de GNL à température cryogénique pendant plusieurs semaines);
- Allouer un espace dédié à l'installation d'un petit gisement fixe de capacité de confinement variable selon les besoins, de l'ordre de 100-500m<sup>3</sup>.

Dans les deux cas, l'objectif est de rendre le GNL immédiatement disponible et relativement pratique pour les premiers utilisateurs de petites quantités, privilégiant ainsi des solutions clé en main qui, d'une part, minimisent les délais et les coûts de construction, accélèrent la mise en service, d'autre part. ils permettent de compter sur des technologies brevetées avec une garantie, une efficacité, une sécurité et une intégrité éprouvées.

Du point de vue des coûts pour ce type d'infrastructure, le prix unitaire moyen des conteneurs ISO est d'environ 100.000 euros, avec la possibilité d'obtenir des devis plus avantageux en cas d'achat de lots et si des contrats de fourniture de GNL. Plus onéreuses mais tout aussi compétitives sont les petites balles de stockage de 100 à 500 m<sup>3</sup>, qui, comme les conteneurs ISO, ont des délais de livraison de l'ordre de quelques mois. Cependant, ceux-ci, étant fixes, diffèrent par la nécessité de prévoir des structures auxiliaires pour le transfert et la gestion, surtout s'il est prévu d'allouer une partie du volume au segment automobile. Une installation de stockage typique de 500 m<sup>3</sup> également équipée pour les opérations de soutage et de ravitaillement routier nécessite des investissements de l'ordre de 6 à 7 millions (qui peuvent varier considérablement en fonction des coûts d'adaptation et d'infrastructure du chantier). Comme indiqué précédemment, le dépôt du mini-port, bien qu'il ne puisse garantir l'approvisionnement pour l'avitaillement des navires de taille moyenne à grande, pourrait agir dans une première phase initiale comme un «tampon» portuaire capable de desservir des navires de taille moyenne., Port des équipements et un réseau de stations au sol, à «dimensionner» ensuite dans le temps pour répondre à l'évolution de la demande maritime de GNL.

En ce qui concerne le facteur d'occupation du sol, qui représente certainement un problème critique d'un point de vue opérationnel, l'espace requis pour les conteneurs ISO est le même que pour les conteneurs typiques de 40 pieds, qui peuvent être empilés et déplacés avec les véhicules logistiques habituels sur le quai. Même les unités «balle» peuvent avoir des dimensions relativement limitées, allant de 3x22m (Diamètre x Longueur) pour une capacité de 100 m<sup>3</sup> à 5x34,5m (Diamètre x Longueur) pour une capacité de 500 m<sup>3</sup> de GNL, mais il est nécessaire de prévoir espace supplémentaire pour l'équipement auxiliaire.

La possibilité de lancer des campagnes de sensibilisation relatives à l'acceptabilité sociale du GNL dans le but de préparer le terrain et de faciliter le développement du réseau d'infrastructures dans la région revêt une importance particulière dans cette phase.

## 6.2 SCÉNARIO DE LA PHASE DE TRANSITION DE CONSOLIDATION DE LA DEMANDE À COURT-MOYENNE PÉRIODE

A court-moyen terme, avec une demande constante mais loin d'atteindre le plein potentiel de développement, il est possible d'émettre l'hypothèse d'un scénario dans lequel les ports de l'arc tyrrhénien-ligure se doteront d'un navire ravitailleur de taille moyenne (5.000 - 7.500 m<sup>3</sup>) et complémentaire d'une barge ou d'un ponton GNL (capacité comprise entre 1000 et 3000 m<sup>3</sup>) dédié au port, (éventuellement non propulsé), pour le ravitaillement navire-navire dans les eaux protégées.

Du point de vue du stockage dans le port, en support de l'unité mobile navale, un dépôt d'une capacité évolutive jusqu'à 10000 m<sup>3</sup>, à construire en plusieurs phases en mode modulaire, permettrait aux ports de l'arc ligure de maintenir la compétitivité, garantissant en même temps une série d'avantages, tels que:

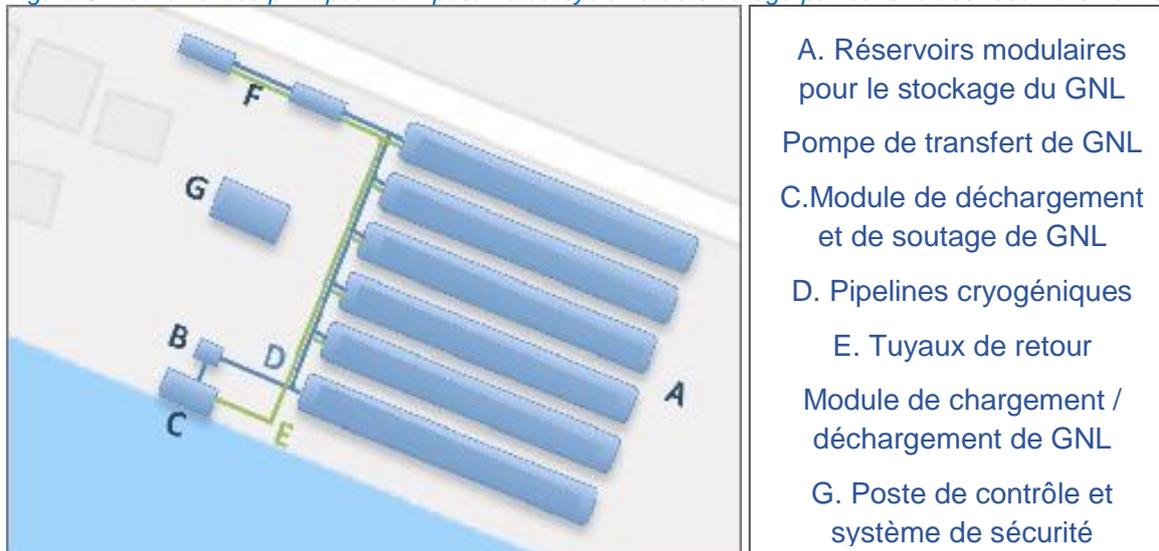
- Capacité d'offrir des services immédiats et d'étendre la capacité de l'usine à mesure que la demande augmente;
- pouvoir compter sur une large gamme de solutions technologiques prêtes à l'emploi et déjà largement utilisées;
- Réduire la planification de l'usine, l'ingénierie, les permis et le calendrier de construction;
- Réduire les CAPEX, permettant un retour sur investissement plus rapide et donc la génération de profits dans un temps plus court;
- Réduire le risque opérationnel.

Dans ce cas, la solution technologique de stockage la plus appropriée serait celle d'une batterie de réservoirs horizontaux «balles» présentant les principales caractéristiques suivantes.

*Tableau 39: caractéristiques du système de stockage par batterie des réservoirs horizontaux*

Technologie de stockage préférable	Exemples d'application pertinents	Caractéristiques principales
<p>Ensemble d'unités de stockage à capacité variable et différentes options de confinement de gaz (Vide + perlite ou vide + récipients sous pression isolés en acier inoxydable multicouche).</p>	<p>Une variété de gisements satellites et côtiers en Europe du Nord; des dépôts satellites en Italie pour les utilisateurs hors réseau et les stations automobiles; gisements côtiers en construction / autorisation en Italie (par exemple Oristano, Livourne, Cagliari, P. Torres)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <input type="checkbox"/> Capacité: 100-1200 m<sup>3</sup></li> <li>✓ <input type="checkbox"/> Génération BOG: environ 0,2% / jour</li> <li>✓ <input type="checkbox"/> Pression de service: 0,5-8 barg</li> <li>✓ <input type="checkbox"/> Construction: préfabriqué dans des usines spécialisées (livraison en quelques mois à compter de la commande)</li> <li>✓ <input type="checkbox"/> Dimensions: de 5x34,5 m (PxL) pour les unités de 500 m<sup>3</sup> à 6x55 m (PxL) pour les unités de 1225 m<sup>3</sup></li> </ul>

Figure 82: schéma des principaux composants du système de stockage par batterie des réservoirs horizontaux



Du point de vue des éléments constitutifs du système modulaire, ceux-ci pourraient être facilement disponibles auprès des entreprises leaders du secteur en Europe, qui proposent des packages clé en main de la production au transport et à l'installation.

Sur la base des expériences antérieures et des spécifications techniques des produits disponibles sur le marché, il est possible de faire l'hypothèse des éléments suivants pour un dépôt modulaire:

A. Réservoirs modulaires pour GNL: réservoirs en acier inoxydable sous pression et isolés sous vide, avec des volumes individuels de 500 à 1225 m<sup>3</sup> chacun, conformes aux normes UNI EN ISO et aux directives européennes pertinentes;

B. Pompe de transfert de GNL: pompe cryogénique avec la capacité d'ajuster les débits aux besoins / capacité du récipient récepteur;

C. Module de déchargement et de soutage de GNL: raccordement d'alimentation et de retour de GNL avec tuyaux flexibles, raccords rapides secs et débitmètres. Les couplages et les débitmètres détachés font également partie de ce module. Les tuyaux peuvent être supportés par une grue pour une manipulation et un réglage en hauteur faciles (s'adaptant ainsi aux différences de hauteur des navires de soutage et / ou aux variations de marée). Comme alternative aux tuyaux flexibles, des bras de chargement articulés de nouvelle génération tels que ceux décrits au paragraphe 5.3 peuvent être installés pour assurer des taux de transfert plus élevés et une plus grande flexibilité opérationnelle.

D. Canalisations cryogéniques: lignes de transfert de GNL avec isolation sous vide ou en mousse;

E. Tuyauterie de retour: tuyauterie de retour de gaz en acier inoxydable;

F. Module (s) de chargement / déchargement de GNL à terre: raccordement du tuyau flexible pour la livraison du GNL vers (ou le retrait des) réservoirs de stockage par citerne ou conteneur ISO;

G. Poste de contrôle et systèmes de sécurité: constitué d'un panneau principal, et de tous les outils de sécurité nécessaires pour surveiller correctement le système, tels que détecteurs de gaz et de flammes, interrupteurs ESD, alimentation électrique continue assurée par piles, transmission à distance des données.

Avec une telle configuration, l'installation serait en mesure de démontrer la faisabilité économique et technologique du stockage et de la distribution de GNL à petite échelle.

Sans préjudice des composants essentiels (éléments précisés dans la liste précédente), les coûts seraient variables et proportionnels au nombre et à la capacité de stockage des réservoirs (1 000 m<sup>3</sup> de balles sous pression ont un coût unitaire d'environ 2 millions).

En ce qui concerne l'extension de la zone à utiliser comme entrepôt, il est plausible de penser qu'il sera encore nécessaire de fournir jusqu'à 30000 m<sup>3</sup> en vue d'une extension future (donc avec une capacité de stockage de l'ordre de 10000 m<sup>3</sup>).

Bien que n'étant pas en mesure de fournir les mêmes économies d'échelle que les terminaux GNL à grande échelle, l'installation pourrait être construite dans un laps de temps nettement plus court et garantirait un modèle commercial attrayant pour les opérateurs. Cependant, il convient de rappeler qu'une telle installation serait probablement encore fournie par un grand terminal GNL (par exemple, Marseille-Fos pourrait continuer à être à la pointe de ce type de service) pour couvrir un pourcentage important des volumes nécessaires, sans en mesure d'accueillir l'amarrage de gros pétroliers.

### 6.3 SCÉNARIO DANS LA PHASE DE DIFFUSION CONSOLIDÉE DU GNL COMME COMBUSTIBLE MARIN À MOYEN-LONG TERME

En réfléchissant sur un horizon temporel plus large, en cas de consolidation de la demande de GNL et nette des incertitudes sur la mise à niveau réelle des terminaux de regazéification de Panigaglia et OLT Offshore pour offrir des services de soutage à petite échelle, le scénario hypothétique pour les ports liguriens est celui de se doter d'actifs de taille moyenne (mais toujours relativement flexibles) pour le stockage et le soutage de GNL:

1. Une unité navale de bunker à mettre éventuellement dans un système avec les ports du bassin tyrrhénien ligure, avec une capacité de stockage adéquate (la taille de 7500 m<sup>3</sup> est, selon l'évolution des commandes et du marché, celle qui semble la mieux répondre aux besoins futurs) et qui pourrait permettre l'avitaillement STS même aux plus grands navires de croisière, déchargeant éventuellement une partie de la cargaison dans un dépôt côtier. Le coût théorique d'une unité de ce type est d'environ 40 Mio. Cependant, contrairement au ponton, cette unité navale serait en mesure de prélever du gaz des grands terminaux actuellement opérationnels ou en cours de construction / modernisation (Barcelone, Marseille, Panigaglia, OLT) puis le transporter au port pour les opérations de transfert tant côté mer que côté terre;

2. Barges et petits navires de soutage (1 000 - 3 000 m<sup>3</sup>) dédiés au ravitaillement intra-port des navires alimentés au GNL

3. Un gisement côtier de 10 000 à 30 000 m<sup>3</sup> de GNL, divisé en un ou plusieurs réservoirs cryogéniques de type "confinement total", réalisé de manière à garantir l'étanchéité complète des produits liquides et gazeux en cas de défaillance de le confinement primaire. Les réservoirs seront construits de manière à limiter le flux thermique de l'extérieur grâce à l'utilisation de matériau isolant (perlite) entre les deux enceintes et seront équipés de l'instrumentation nécessaire pour surveiller en continu le niveau ainsi que la température et profil de densité le long de la hauteur du réservoir, afin d'éviter d'éventuels événements de basculement du GNL à l'intérieur (roll-over).

4. Stations GNL desservant les véhicules terrestres lourds

Dans ce cas, l'approvisionnement du dépôt, compte tenu des contraintes d'accès au port, pourrait être conféré par des méthaniers plus importants, avec des capacités typiquement comprises entre 7500 m<sup>3</sup> et 27500 m<sup>3</sup>, avec possibilité de déchargement partiel jusqu'à couverture de la capacité de l'usine. .

Le transfert du GNL du navire aux réservoirs et le retour du BOG au navire lui-même se feront avec trois bras de chargement (bidirectionnels) d'un diamètre de 10 "chacun. Un bras de rechange supplémentaire sera également installé pour être utilisé en cas de dysfonctionnement de l'un des bras principaux. Le bras de réserve sera de type hybride, c'est-à-dire qu'il pourra être utilisé de manière bidirectionnelle pour le transfert du GNL du navire au réservoir, pour le transfert du BOG de la terre au navire et pour le chargement du GNL sur les barges.

La circulation de refroidissement sera rendue possible par les pompes GNL installées à l'intérieur des cuves (pompes en cuve). Il est nécessaire de maintenir la tuyauterie froide pour éviter la génération excessive de BOG dans la phase initiale du drain.

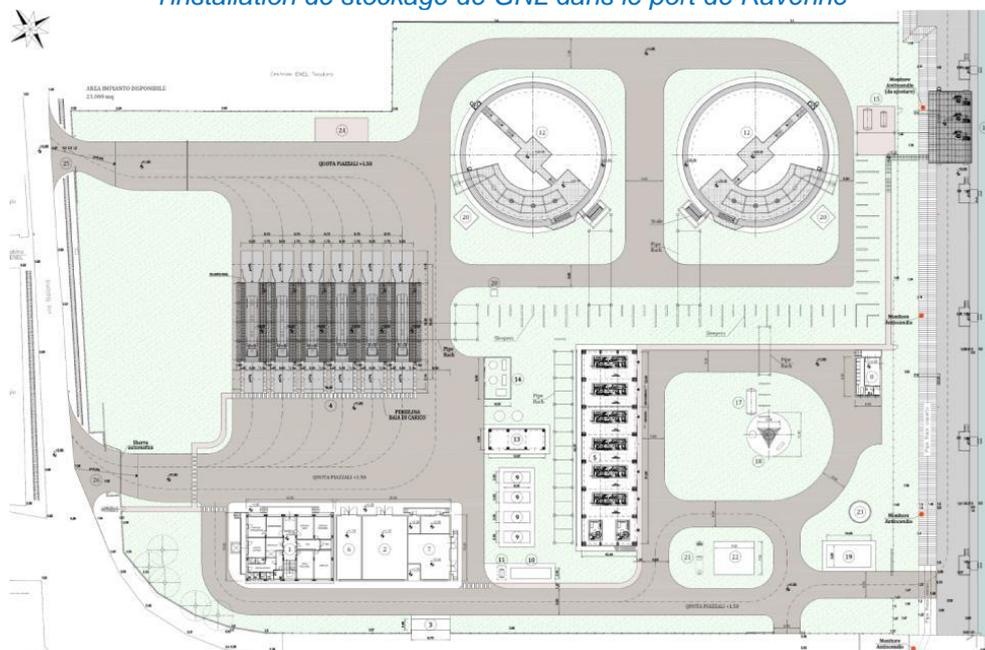
Du point de vue des éléments constitutifs du système, ceux-ci sont conceptuellement similaires à ceux d'un système modulaire, mais différents en échelle et en type.

Sur la base de l'expérience antérieure et des informations produites par les promoteurs de projets similaires, il est possible de faire l'hypothèse d'une configuration de système comme le montre la figure ci-dessous.

Tableau 40: caractéristiques du grand système de stockage «full confinement»

Technologie de stockage préférable	Exemples d'application pertinents	Caractéristiques principales
<p>1-2- grands réservoirs de «confinement complet» avec réservoir interne autoportant, couche isolante en perlite et structure de confinement externe en béton armé.</p>	<p>Les terminaux de regazéification existants ont ensuite été adaptés pour fournir des services de GNL à petite échelle (par exemple: Barcelone, Marseille-Fos, Zeebrugge, Rotterdam, Hambourg); dépôts en construction / autorisation en Italie (par exemple Venise, Ravenne).</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Capacité: 5 000 à 180 000 m<sup>3</sup></li> <li>✓ Génération BOG: environ 1% / jour</li> <li>✓ Pression de service: atmosphérique</li> <li>✓ Construction: sur site sur site (2 à 3 ans à compter de l'obtention des permis)</li> </ul>

Figure 83: Exemple de plan de projet correspondant à la configuration initialement prévue pour l'installation de stockage de GNL dans le port de Ravenne



Source: report T.1.2.1 Projet SIGNAL

Le gisement sera conceptuellement divisé en les unités fonctionnelles suivantes:

- Unité de chargement et d'accostage des méthaniers / barges: elle comprendra l'infrastructure et les dispositifs d'amarrage des méthaniers et des barges;
- Unité de stockage de GNL: elle comprendra les réservoirs cryogéniques et tous les accessoires et dispositifs auxiliaires nécessaires à leur bonne gestion;
- Chargement des pétroliers: il comprendra les quais de chargement pour les pétroliers, les systèmes de mesure de la charge et tous les systèmes auxiliaires pour un fonctionnement et une gestion corrects;
- Système de gestion BOG: il comprendra le système de gestion BOG composé de moteurs à combustion interne utilisés pour la production d'électricité et d'un système de reliquéfaction BOG de taille appropriée;
- Système d'évacuation d'urgence des gaz de torchère: l'installation est conçue selon la philosophie «sans torchage», c'est-à-dire sans émissions dans l'atmosphère; cependant, il comprendra le système d'évacuation des gaz de torche pour collecter et éliminer en toute sécurité les rejets exceptionnels et d'urgence;
- Systèmes auxiliaires et de service: système d'air comprimé, système d'azote, système d'eau industrielle, système d'eau potable, générateur diesel de secours, systèmes thermotechniques et réseaux d'eau pour les bâtiments à usage civil, alimentation électrique, etc.
- Bâtiments et travaux annexes: bureaux pour le personnel de direction et de gestion administrative de l'entrepôt, systèmes de service nécessaires à la bonne gestion et fonctionnalité de l'usine, salle de contrôle supplémentaire à la plate-forme d'exploitation, pour le contrôle visuel des opérations de transfert GNL depuis les navires .

Quant à l'extension de la zone à utiliser comme zone de stockage, des surfaces allant de 20 000 à 35 000 m<sup>2</sup> sont à considérer comme standard pour ce type de stockage, y compris des espaces pour installations auxiliaires.

## 6.4 CONSIDÉRATIONS ET RECOMMANDATIONS TRANSVERSALES

- Tous les scénarios ont en commun la philosophie de pouvoir étendre progressivement l'infrastructure de ravitaillement en GNL en fonction des besoins réels, en mettant en œuvre de temps à autre des solutions minimales pour répondre aux besoins du moment avec la flexibilité d'expansion vers les futurs.
- Une autre hypothèse, valable notamment pour la phase de démarrage transitoire, est celle de l'installation d'un stockage flottant qui pourrait mieux répondre à la phase de transition vers le nouveau combustible, en attendant la consolidation tant du côté de la demande que du côté de l'installation de systèmes sur le terrain, afin d'aboutir à une solution définitive en termes de capacité, meilleure position et disposition.
- Une telle solution de stockage flottant pourrait réduire l'incertitude et les charges associées à la phase de planification, d'autorisation et de construction, ainsi que de réduire l'utilisation des terres, offrant la possibilité de limiter les éventuelles oppositions citoyennes.
- Par ailleurs, transversalement à toutes les hypothèses de réalisation, la possibilité de se procurer, au moins en partie, auprès d'usines de Bio-LNG, voire de disposer d'une usine de production de biométhane assistée par un liquéfacteur à petite échelle, doit être soigneusement étudiée.
- La stratégie optimale ne peut cependant être définie qu'après comparaison avec les acteurs locaux de la filière et préparation d'analyses technico-économiques spécifiques au site des différentes solutions envisagées.
- Compte tenu des avantages découlant de la standardisation et de la modularisation des installations de stockage et des composants associés, l'adoption d'un concept évolutif permettrait un déploiement réactif et relativement peu coûteux du GNL, soutenu par des terminaux conventionnels à grande échelle.
- En effet, les grands terminaux d'exportation de GNL continueront de jouer un rôle important en contribuant à la croissance des marchés de GNL de petite et moyenne taille, en couvrant les besoins des usines émergentes et en garantissant des solutions d'approvisionnement rentables. Pour les ports de l'arc tyrrhénien-ligure, la structure existante à Marseille Fos-sur-Mer sera certainement une source d'approvisionnement fiable, d'autant plus si l'on considère les ajustements et les investissements respectifs qui devraient être réalisés dans un proche avenir.
- Enfin, quelques pistes de réflexion concernent la possibilité d'insister sur des facteurs «systémiques», notamment:
  - - se concentrer sur le développement de compétences et de professionnalisme de haut niveau liés aux services de soutage de GNL;
  - - réaliser une planification stratégique efficace à long terme en synergie par les différentes autorités compétentes (MiSE, MIT, AdSP)
  - - développer une approche uniforme aux niveaux national, interrégional, européen et méditerranéen pour normaliser les critères d'évaluation et d'approbation des différentes opérations d'avitaillement, notamment en se référant particulièrement à la possibilité de réaliser des opérations commerciales simultanées (par exemple chargement / déchargement de passagers en bordure) ;

- - élaborer des orientations stratégiques et des références réglementaires homogènes communes à toutes les autorités et opérateurs du système portuaire;
- - mettre en place des groupes de travail conjoints et permanents pour assurer l'analyse commune et coordonnée des enjeux stratégiques et politiques, juridiques / administratifs, techniques, de la formation du personnel et des procédures d'exploitation liées à l'utilisation du GNL dans la zone portuaire et soutenir les administrations locales sur les procédures et les règles ;
- - Introduire et étendre les mesures visant à une plus grande pénétration du GNL dans le secteur du transport maritime, telles que toute incitation et / ou exonération fiscale pour la construction de navires de soutage et de dépôts de GNL à usage maritime portuaire;
- - prévoir des mesures de soutien rémunératrices et économiques pour les flottes navales alimentées au GNL (par exemple à travers la définition de tarifs portuaires adaptés pour faciliter l'utilisation des navires au GNL) et pour la construction de nouvelles unités navales, en aval d'un suivi attentif des les émissions produites dans le port pour chaque type et navire, pour aborder et maximiser l'efficacité de ces mesures;
- - fournir un cadre budgétaire certain et stable, qui permet la reprise des investissements à certains moments;
- - renforcer les contrôles sur la "conformité" des "carburants à faible teneur en soufre" et rendre les sanctions correspondantes effectives
- rendre le service de soutage de GNL en Italie plus compétitif, en fournissant des actions de soutien en termes de formation et d'éventuelles aides sociales et sociales pour les services de soutage de GNL.

## LOT N°5 :

### RAPPORT TECHNIQUE SUR LES EXIGENCES DU RESEAU MARITIME

#### RAPPORT D'ETUDE Rapport T1.5.1:

#### L'ETUDE DE CAS

COMMENT CONSTRUIRE UN QUAÏ INTELLIGENT, PROPRE ET MODERNE POUR  
REPENDRE AU MIEUX AU DEFI DE LA TRANSITION ENERGETIQUE PORTUAIRE ?

## Table des matières

1. Contexte	6
2. Objectifs de l'étude	7
3. La méthode QOQCP appliquée au quai d'avitaillement GNL	8
3.1. QUOI ? Les bases du quai de ravitaillement GNL	8
3.1.1. Défenses d'accostage et amarrage	9
3.1.2. Système de protection incendie	10
3.1.3. Système de tuyauterie : Bras cryogéniques ou flexibles	10
3.1.4. Système d'aide à l'accostage (facultatif)	11
3.2. Pourquoi le GNL?	11
3.3. Qui, Où et Quand ?	11
3.4. Comment se fournir en GNL ?	11
4. Comment construire un quai d'avitaillement	12
4.1. La sécurité comme fil conducteur de la conception	12
4.2. Les risques et accidentologie	13
4.3. Zoom sur les zones gaz (ATEX et étendue)	14
4.4. Les études nécessaires durant le projet	16
4.5. Critères technico-économiques d'implantation	16
4.6. Quelles réglementations ? par type d'installations	17
5. Quelles solutions de soutage et pour quel besoin ?	17
5.1. Le dimensionnement du besoin	18
5.2. Les solutions d'avitaillement GNL	19
5.2.1. Le chargement par camions-citernes - Truck-To-Ship	19
5.2.2. Le chargement depuis une station terrestre - Shore-To-Ship ou Port-To-Ship	20
5.2.3. Le transfert d'ISO à Navire	21
5.2.4. Le soutage de navire à navire - Ship-To-Ship	22
5.3. Eléments économiques	24
5.4. La question de l'approvisionnement de la solution d'avitaillement	25
6. Le GNL comme solution de fourniture électrique des navires à quai	26
6.1. La centrale mobile GNL pour fournir l'électricité à quai des navires	27
6.2. La barge GNL flottante – LNG Power Barge	28
6.3. La centrale mobile GNL flottante – Power-to-grid	28
7. Les dernières innovations	29
7.1.1. La ventouse d'amarrage	29
7.1.2. la barge GNL multi fonction	29
7.1.3. Le quai GNL mobile flottant	29

7.1.4.	L'Outil de calcul des zones de dangers pour une zone de soutage	30
7.1.5.	Le navire hybride GNL multi fonction	30
7.1.6.	Les drones volants	30
7.1.7.	Digitalisation des services portuaires	31
8.	Les quais dédiés au ravitaillement GNL dans les autres ports européens	31
8.1.	Le Ferry Terminal d'Halhjem (Norvège)	32
8.2.	Le port de Brunsbüttel (Allemagne)	33
8.3.	Le terminal GNL de Gibraltar	33
8.4.	Le port de Klaipeda (Lituanie)	34
9.	Synthèse d'un projet de construction de quai d'avitaillement	35
10.	Conclusion :	36

## Liste des figures

Figure 1 :	Schéma d'un quai classique .....	8
Figure 2 :	Schéma d'un appontement .....	8
Figure 3 :	Schéma d'un ouvrage d'accostage à partir de ducs d'Albe.....	8
Figure 4 :	Schéma d'un amarrage à quai.....	9
Figure 5 :	Exemples de types de défenses d'accostage .....	9
Figure 6 :	Coupe d'un flexible.....	10
Figure 7 :	Exemple de bras articulés .....	10
Figure 8 :	Schéma indiquant la délimitation des zones susceptibles de contenir une atmosphère explosive .....	15
Figure 9 :	Truck-To-Ship .....	19
Figure 10 :	MTTS - Mutli-Truck-to-Ship .....	19
Figure 11 :	Shore-To-Ship ou Port-To-Ship.....	20
Figure 12 :	Baie de chargement citernes GNL.....	20
Figure 13 :	Chargement d'une citernes depuis un wagon .....	20
Figure 14 :	Vue conceptuelle de la baie de chargement citernes d'Anvers .....	21
Figure 15 :	Ship-to-Ship .....	22
Figure 16 :	Vue conceptuelle des avitailleurs de Titan LNG qui équiperont les ports d'Amsterdam et Anvers en 2020 .....	22
Figure 17 :	Schéma des solutions d'avitaillement adaptées en fonction de la taille des navires .....	24
Figure 18 :	Illustration du circuit d'approvisionnement en GNL, du terminal au navire à souter.....	26
Figure 19 :	Les solutions d'approvisionnement selon leur taille .....	26
Figure 20 :	Ferry de la Méridionale à branché à Quai .....	26
Figure 21 :	La station mobile d'Air Flow .....	27
Figure 22 :	Barge GNL d'alimentation Electrique à Hambourg.....	28

Figure 23 : L'un des 17 navire-centrales de Karpower, leader sur ce créneau .....	28
Figure 24 : Les amarres ventouses de Cavotec .....	29
Figure 25 : La barge multifonction de Sofresid .....	29
Figure 26 : La jetée mobile de Connect LNG.....	29
Figure 27 : Représentation de l'outil BASIL de la SGMF .....	30
Figure 28 : Le navire hybride de Knude Hansen .....	30
Figure 29 : Représentation de drones effectuant une livraison de colis .....	30
Figure 30 : Les installations GNL de la zone Marittimo en 2019 .....	31
Figure 31 : Photo du terminal de ferry de Risavika en Norvège.....	32
Figure 32 : Espace réservé au bras de chargement.....	32
Figure 33 : Vue aérienne du terminal d'Halhjem .....	32
Figure 34 : Vue aérienne du terminal GNL de Gibraltar .....	34
Figure 35 : Vue satellite du port de Klaipeda .....	34
Figure 36 : Vue aérienne de la station GNL de Klaipeda .....	35

## Liste des abréviations et acronymes

Acronyme	Définition
<b>ADR</b>	Accord européen pour le transport international de marchandises <b>D</b> angereuses par <b>R</b> oute
<b>BOG</b>	Boil of Gas – Evaporations issues du GNL
<b>CCI(V)</b>	Chambre de Commerce et d'Industrie (du Var)
<b>ECA</b>	ECA Emission Control Area ou zone d'émission contrôlée
<b>EnR</b>	Techniques de production d'énergie dont la mise en œuvre n'entraîne pas l'épuisement de la ressource initiale. La source d'énergie est renouvelable en permanence à l'échelle humaine (vent, soleil, sol, biomasse, hydraulique). Ex : éoliennes, centrales solaires...
<b>FSRU</b>	(Floating Storage Regasification Unit) C'est un navire méthanier conçu comme une unité flottante de stockage et de regazéification du GNL, utilisé comme terminal de regazéification off-shore.
<b>GIE</b>	Gas Infrastructure Europe
<b>GIIGNL</b>	Groupe International des Importateurs de GNL
<b>GNL</b>	Gaz Naturel Liquéfié
<b>GNC</b>	Gaz Naturel Comprimé
<b>HSE</b>	Hygiène, Sécurité, Environnement, un domaine d'expertise technique dans l'industrie
<b>ICPE</b>	<b>I</b> nstallation <b>C</b> lassée pour la <b>P</b> rotection de l' <b>E</b> nvironnement (ICPE)
<b>IGC</b>	Le code IGC, en anglais, « International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk », ou « Recueil international de règles relatives à la construction et à l'équipement des navires transportant des gaz liquéfiés en vrac »
<b>IGF</b>	Le code IGC, en anglais « International Code of Safety for Ship Using Gases or Other Low-flashpoint Fuels ». Code international de sécurité pour les navires utilisant le GNL a pour objet de fournir une norme internationale pour les navires, autres que ceux couverts par le code IGC.
<b>MTTS</b>	Mutli Truck-to-ship ; soutage à partir de plusieurs camions-citernes branchés en simultané.
<b>OCIMF</b>	Oil Companies International Marine Forum
<b>PIANC</b>	World Association for Waterborne Transport Infrastructure
<b>RID</b>	Règlement concernant le transport <b>I</b> nternational ferroviaire des marchandises <b>D</b> angereuses
<b>RLMD</b>	Règlement <b>L</b> ocal pour le transport et la manutention des <b>m</b> archandises <b>d</b> angereuses
<b>RPM</b>	Règlement pour le transport et la manutention des marchandises dangereuses dans les <b>p</b> orts <b>m</b> aritimes
<b>SEVESO</b>	Sites industriels présentant des risques d'accidents majeurs
<b>SGMF</b>	Society for Gas as a Marine Fuel

## 1. Contexte

Dans le cadre du programme transfrontalier « Marittimo-Interreg Italie-France 2014-2020 » cofinancé par le Fonds Européen de Développement Régional (FEDER), sous l'objectif Coopération Territoriale Européenne (CTE), quatre projets concernant le GNL (Gaz Naturel Liquéfié) utilisé comme carburant marin, ont été mis en place. Pour ces quatre projets, dont la finalité est d'appréhender la transition énergétique, la CCI du Var est partenaire.

Les objectifs de chacun des projets sont présentés ci-dessous :

Projet	Objectifs principaux
<b>TDI-RETE GNL</b>	Définir les standards technologiques et procédures communes pour le soutage GNL
<b>GNL SIGNAL</b>	Définir un modèle d'approvisionnement, de stockage et de distribution en GNL
<b>GNL FACILE</b>	Définir un système intégré de ravitaillement en GNL
<b>GNL PROMO</b>	Promouvoir l'utilisation du GNL

Tableau 1 : Objectifs de chacun des quatre projets GNL

**La présente étude concerne le projet GNL SIGNAL** qui a pour objectif de définir un système intégré de distribution du GNL dans les cinq territoires du Programme pour les navires et éventuellement d'autres moyens de transport ou d'autres activités. Il s'agit de constituer une base de développement stratégique du système de distribution du GNL par :

- a. 1 modèle d'optimisation du réseau maritime pour l'approvisionnement,
- b. 1 modèle de localisation des sites de stockage dans les ports de destination,
- c. 1 modèle de distribution interne dans les territoires les moins équipés.

Le groupement Elengy, TRACTEBEL, Gazocéan et ENGIE Lab CRIGEN est titulaire du marché intitulé **Lot n°5 : Rapport technique sur les exigences du réseau maritime**. La réalisation du livrable T1.5.1 est découpée en deux phases :

- Réalisation d'une base de données des navires et armateurs associés influant dans les ports de la zone Marittimo (phase 1); ainsi que trois tableaux de paramètres descriptifs pour les ports (1), le réseau maritime (2) et les navires (3).
- Réalisation d'une étude de cas sur la construction des quais dédiés au ravitaillement GNL (Phase 2).

**Le présent rapport constitue le livrable de la phase 2 : l'étude de cas.**

## 2. Objectifs de l'étude

L'objectif de cette étude est d'apporter une réponse aux questions suivantes soulevées dans le cahier des charges :

- Comment construire un quai intelligent, propre et moderne pour répondre au mieux au défi de la transition énergétique portuaire ?
- Quels sont les paramètres clés à prendre en compte pour la construction d'un nouveau quai, dédié à l'approvisionnement de navires GNL ?
- Quelles sont les innovations dans ce domaine ?
- Comment sont construits les quais dédiés au ravitaillement GNL dans les autres ports européens ?

Les ports sont amenés à répondre à ces problématiques, afin de proposer un service d'avitaillement en GNL. Aujourd'hui, les sept ports de la zone de coopération franco-italienne Marittimo sont : le port de Gênes, le port de La Spezia, le port de la Marina di Carrara, le port de Livourne, le port de Toulon, le port de Bastia et le port de Cagliari. Ils ne sont pas encore équipés d'infrastructures permettant d'offrir ce service. Aussi passent-ils commande de plusieurs études en vue de mettre en place la chaîne GNL la plus adaptée aux caractéristiques de leur port. Ce présent document s'inscrit dans cette démarche.

Afin d'accompagner les ports dans leur questionnement, cette étude propose des recommandations pratiques. Son fil conducteur est de répondre également à la question plus générique : quel quai construire pour mon port ?

Le chapitre 3 suit la méthode du questionnement QQOQCCP (Quoi, Qui, Où, Quand, Comment, Combien, Pourquoi), un outil d'aide à la résolution de problèmes qui permet de mieux cerner le besoin qui se cache derrière les interrogations posées. La suite du document approfondit « le Comment ». Le sujet est vaste, aussi, plusieurs aspects incontournables de la conception sont abordés dans le chapitre 4 (la sécurité, la réglementation, l'approvisionnement, etc.). A l'inverse, les thèmes qui sont spécifiques à chaque site, comme le choix de l'emplacement du quai dans le port par exemple, ne sont pas abordés, ils doivent faire l'objet d'études spécifiques.

Le document s'inscrit comme une introduction préliminaire à toutes les études d'un projet de construction de quai, en évoquant de nombreux sujets facilitant la prise de décision dans les choix de conception. Il détaille plus particulièrement les solutions de soutage qui sont déterminantes dans le choix du quai à construire (chapitre 5) et évoque également l'utilisation du GNL pour la production d'électricité (chapitre 6).

Pour faire le lien avec les quais du futur, il décrit les dernières innovations qui ne manqueront pas d'équiper les quais de demain (chapitre 7).

Enfin à titre d'exemple, l'étude présente le cas de quelques ports européens proposant déjà un service d'avitaillement GNL portuaire, ce qui représente un enseignement intéressant pouvant profiter aux décideurs des installations futures.

### 3. La méthode QOQCP appliquée au quai d'avitaillement GNL

Si le « Comment » est traité de manière détaillée dans le chapitre 4, il est intéressant de s'arrêter sur le « Quoi » et le « Pourquoi » pour poser un cadre et un sens à cette étude. Le « Qui », le « Où » et le « Quand » sont quant à eux traités ensemble succinctement car peu pertinents pour cette étude.

#### 3.1. QUOI ? Les bases du quai de ravitaillement GNL

De manière générale, la définition d'un quai ou appontement désigne l'ouvrage principal de l'interface navire-port, aménagé en vue de permettre l'accostage des bâtiments de navigation, l'embarquement ou le débarquement des passagers, le chargement ou le déchargement des marchandises. Il supporte les défenses sur lesquelles s'appuie la coque du navire à quai, des équipements d'amarrage, les équipements d'accès au navire. On distingue 3 types de quais<sup>1</sup> :

- 1) Le quai classique :** il assure une liaison directe entre le navire et la terre et doit résister aux efforts horizontaux :
- d'accostage (1)
  - d'amarrage (2)
  - à la poussée des remblais (2')

et aux efforts verticaux

- de son poids propre (3)
- des engins de manutention (4)
- des charges sur le terre-plein (5)

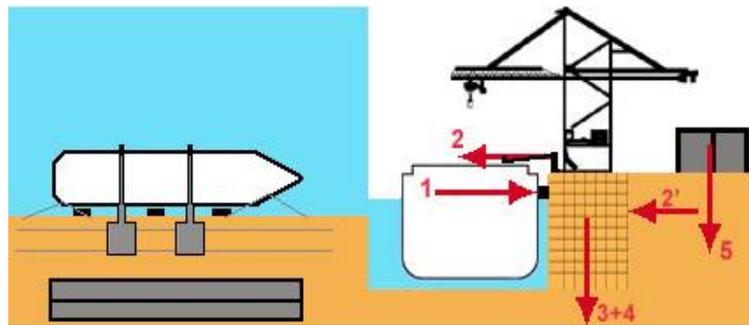


Figure 1 : Schéma d'un quai classique

- 2) L'appontement :** cet ouvrage est déporté sur l'eau, il n'assure pas une liaison directe entre le navire et la terre. Il doit résister aux efforts horizontaux :

- d'accostage (1)
- d'amarrage (2) mais n'a pas à retenir des remblais

et aux efforts verticaux :

- de son poids propre et de celui des engins de manutention (3+4)
- des éventuelles cargaisons déposées (5)

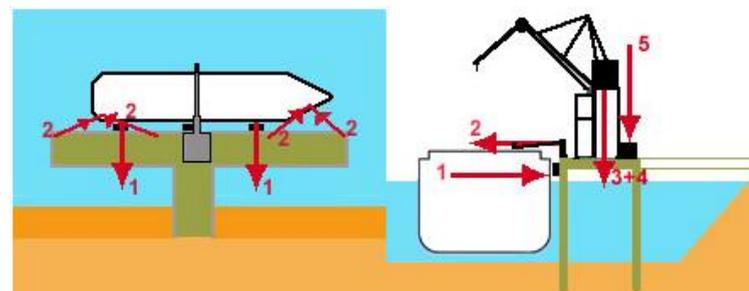


Figure 2 : Schéma d'un appontement

- 3) Les ducs d'Albe :** ouvrage qui ne sert qu'à l'accostage et/ou l'amarrage du navire, il doit résister aux efforts horizontaux :

- d'accostage (1)
- d'amarrage (2)
- et aux efforts verticaux dus à son seul poids propre (3).

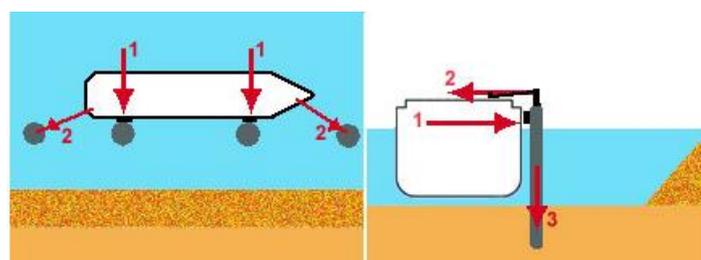


Figure 3 : Schéma d'un ouvrage d'accostage à partir de ducs d'Albe

<sup>1</sup> Source : <http://www.planete-tp.com/conception-des-ouvrages-d-accostage-a547.html>

La définition de l'avitaillement en GNL : c'est le transfert à petite échelle de GNL dans des navires utilisant le GNL en guise de carburant, pour des moteurs à gaz ou mixtes. L'avitaillement se déroule dans les ports ou d'autres lieux protégés.

Ajouter la fonction d'avitaillement GNL sur un quai, comporte a minima l'ajout d'une zone de soutage qui peut aller du simple espace dédié de quelques mètres carrés non permanents, jusqu' à un site doté d'équipements de stockage et de soutage appelé en anglais « LNG Bunker Facility ». Entre les deux, une multitude de possibilités qui en fonction de la topographie et du besoin du port, rend chaque cas unique, c'est pourquoi il est intéressant de voir ce qui a déjà été fait ailleurs en Europe (cf. chapitre 8). Toutefois, parmi toutes les solutions, certaines permettent la réalisation du soutage en même temps que les opérations commerciales ce qui peut être très important pour certains clients.

Parmi les composants de base du quai, voici quelques recommandations pour le soutage de GNL :

### 3.1.1. Défenses d'accostage et amarrage

Les défenses d'accostage sont utilisées pour la protection des navires et du quai lors des manœuvres d'accostage. Elles permettent d'absorber une partie de l'énergie d'accostage. À l'accostage, le navire dérive avec une vitesse de 10 à 15 cm/seconde. Compte tenu de sa masse importante, il impose à l'ouvrage un effort horizontal (1) qui peut dépasser la centaine de tonnes tout comme sur l'effort d'amarrage (2) contraint par l'effet du vent et des courants éventuels. Pour identifier son besoin, il sera nécessaire de faire un calcul d'inertie d'accostage pour la rigidité et un calcul du front d'accostage pour le dimensionnement. Il sera alors possible de choisir parmi plusieurs types de défenses (cf. figure ci-dessous). Dans ce cadre, il est conseillé de suivre les recommandations du PIANC « Guidelines for the design of fender systems » et notamment la norme BS 6349 qui traite du dimensionnement des structures supportant les défenses (équivalent français ROSA 2000 publié par le CETMEF).

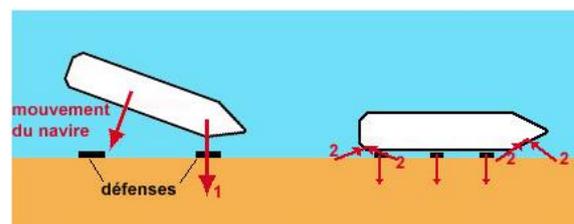


Figure 4 : Schéma d'un amarrage à quai



Figure 5 : Exemples de types de défenses d'accostage

Pour l'amarrage, l'OCIMF a établi les recommandations « Mooring Equipment Guidelines » dont l'application est aussi fortement conseillée. En complément, il est recommandé de dimensionner les massifs d'amarrage pour 100% de la charge admissible par l'amarre si celle-ci est unique, ou 80% de la charge totale en cas d'amarres multiples.

Il est aussi conseillé d'être muni d'un système fiable de largage local et déporté, en lieu sûr si possible, qui puisse être activé sur ordre du commandant du navire et d'équiper les crocs d'un système de mesure

de tension des amarres (requis pour des apportements subissant des conditions maritimes très difficiles (forte houle, courant, etc.).

### 3.1.2. Système de protection incendie

Il est recommandé l'installation d'équipements contre les incendies parmi lesquels plusieurs solutions sont possibles en fonction de la taille et du type d'installation :

- bornes incendie ; raccord pompier universel accessible même avec un navire à quai.
- canons à eau ou à poudre commandables à distance depuis un local sécurisé, destinés à protéger du rayonnement la coque du navire, le personnel et les équipements à quai.
- rideau d'eau (queues de paon) entre la coque du navire et les équipements de soutage à quai.

### 3.1.3. Système de tuyauterie : Bras cryogéniques ou flexibles

Dans toutes les solutions proposées dans le chapitre suivant, seules deux options de raccordement entre la citerne et le navire à souler existent :

- **les bras cryogéniques** : constitués de tubes rigides articulés autour d'au moins deux pivots pour permettre le mouvement dans deux dimensions et atteindre la bride du navire qui n'est pas à la même hauteur selon le navire à souler. C'est l'option la plus chère mais elle offre de meilleures performances de débit et une sécurité maximale, le bras étant notamment manipulé à distance, les risques d'accidents sont limités. A noter également que plus les navires à souler sont grands, plus les bras doivent être grands ou placés en hauteur. La problématique est similaire aux potences des câbles électriques. Selon le besoin il peut y avoir plusieurs bras, pour le transfert du GNL et pour le retour de BOG, c'est ce que l'on retrouve sur les terminaux méthaniers (cf. figure 7) et il existe aussi des bras mixtes. Sur les quais d'avitaillement GNL disposant de cuves pressurisées, on ne retrouve souvent qu'un bras pour le GNL (cf exemple chapitre 8.1).
- **Les flexibles** : sont des tuyaux à double enveloppe (cf. figure 6) utilisés depuis quelques années pour charger ou décharger les camions-citernes de GNL et, plus récemment, pour transférer du GNL entre des navires et des terminaux flottants.



Figure 7 : Exemple de bras articulés

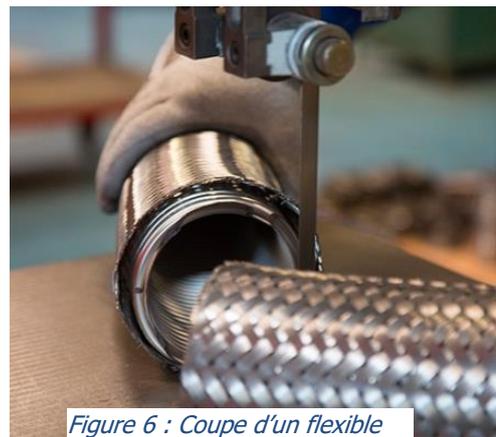


Figure 6 : Coupe d'un flexible

### 3.1.4. Système d'aide à l'accostage (facultatif)

Pour les navires supérieurs à 75 000m<sup>3</sup>, il est recommandé l'installation de dispositifs d'affichage des paramètres de vitesse d'approche et angle du navire. Les données de ces dispositifs doivent être enregistrées pour pouvoir être utilisées en cas d'accident.

## 3.2. Pourquoi le GNL?

Les avantages du GNL :

De manière générale, pour tous les acteurs :

- Le GNL est considéré comme le carburant marin alternatif le plus prometteur pour réduire les émissions nocives des navires, il répond à toutes les nouvelles normes internationales (OMI niveau III) en matière d'émissions relatives à la qualité de l'air (SOx, NOx) et ceci, sans épuration des gaz d'échappement.
- Le GNL est disponible dans le monde entier à grande échelle et peut être distribué comme carburant à petite échelle.
- Des technologies de moteurs éprouvées sont compatibles avec la combustion du GNL, et la recherche initiée sur le GNL en tant que carburant offrira très probablement des performances encore améliorées à l'avenir.
- Le prix du carburant GNL est compétitif par rapport aux autres carburants maritimes traditionnels.
- Il réduit également la pollution sonore et les vibrations pour les navires.

Pour les ports, une nécessité et des critères de différenciation :

- Concurrence : permet de se démarquer des ports n'offrant pas encore de solution d'avitaillement.
- Emplacement : devient indispensable d'offrir une solution de soutage en zone ECA.
- Demande de GNL : demande des armateurs ou des fournisseurs de soutage de GNL.
- Opinion publique : donne une perception publique positive du port en réduisant la pollution locale.

## 3.3. Qui, Où et Quand ?

- **Qui ?** En premier lieu, pour la conception et la réalisation, le port est le principal concerné. Dans la définition du besoin, on retrouve les clients du port à qui le service sera proposé : les compagnies maritimes. Enfin les utilisateurs et les parties prenantes : les armateurs, les personnels et les autorités portuaires, les fournisseurs de services à quai, etc.
- **Où ?** Dans la zone Marittimo
- **Quand ?** au plus tôt, le service de soutage fait déjà partie des attentes des compagnies maritimes qui commencent à s'équiper en navires à propulsion GNL, les chantiers navals sont saturés de commandes de ce type de navires. Une étude coréenne avance par exemple que 60% de nouveaux navires construits en 2025 seront à propulsion GNL<sup>2</sup>. Par ailleurs, la mise en place d'une zone à faible émission autorisées (ECA) en Méditerranée ne pourra se faire sans infrastructures portuaires pour le soutage GNL.

## 3.4. Comment se fournir en GNL ?

**Pour l'armateur :** il peut chercher à faire souter son navire par camion, par navire souteur, mais dans quel port ? Ou depuis un terminal méthanier, mais dans ce cas, le soutage ne peut être effectué pendant une opération commerciale et il est difficilement concevable d'aller jusqu'à un

<sup>2</sup> Source : <https://www.seatrade-maritime.com/asia/lng-powered-ships-account-60-new-orders-2025-korean-study>

terminal pour beaucoup de types de navires. C'est pourquoi certains armateurs s'orientent vers des partenariats commerciaux avec des vendeurs de GNL (comme l'a fait par exemple CMA CGM avec Total<sup>3</sup>).

**Pour le port :** il faut aller se fournir auprès du terminal méthanier le plus proche ou justement s'équiper d'infrastructures de soutage qui seront alimentées par un distributeur de GNL qui fera lui-même le lien avec le terminal méthanier.

## 4. Comment construire un quai d'avitaillement

Ce chapitre répond à la question du « Comment » et présente les principes essentiels de la conception d'un quai de ravitaillement GNL, notamment dans le cadre de la mise en place d'un stockage. La spécificité « cryogénique » du GNL implique une description fournie des aspects sécurité. Une méthode est proposée afin de donner au futur exploitant du quai, les moyens structurels (par opposition aux moyens organisationnels) de maîtriser les risques et de réduire les effets des incidents ou accidents tout au long de la vie du quai. Au vue des besoins maritimes en GNL, le stockage de GNL sur les quais ou à proximité ou a minima dans le port, nécessite de traiter le sujet de la sécurité en premier lieu. L'étude ne fait pas état de la manière dont ils sont construits ni des matériaux employés. Toutefois, bien que les critères de sécurité soient primordiaux pour réaliser l'implantation des équipements et des bâtiments, les critères techniques et économiques doivent aussi être pris en compte pour assurer la viabilité du projet.

### 4.1. La sécurité comme fil conducteur de la conception

Pour concevoir une installation Shore-To-Ship, la prise en compte de la sécurité en phase de conception consiste à étudier les dispositions constructives ou d'organisation visant à :

- la maîtrise des risques pour prévenir les accidents d'exploitation,
- la préservation des équipements, du personnel, des riverains et des intérêts externes.

La conception et toutes les modifications importantes qui seront apportées aux installations devront respecter la politique de sécurité du port et la réglementation locale (industrielle, environnementale et de la protection des travailleurs). La sécurité devra constituer un axe majeur de toutes les études (plan qualité, étude des dangers, etc.) nécessaires en phase de conception tandis que l'exploitation s'inscrira dans le cadre d'un système de management de la sécurité en cohérence avec les politiques qualités et environnementales du port (référentiel, traçabilité, formation et audits). Pour y arriver, il est recommandé de s'appuyer sur la norme EN 1473<sup>4</sup> pour la conception et de vérifier que les choix effectués ne soient pas incompatibles avec la norme NFPA 59A<sup>5</sup>.

Le travail de conception conduit à disposer au final :

- d'un procédé simple et sûr utilisant les meilleures techniques disponibles afin de réduire au mieux les risques lors des opérations de rechargement du stockage et soutage depuis le stockage
- des procédures d'exploitation compréhensibles et efficaces (incluant les plans d'urgence),
- des plans d'implantation d'équipements et des détecteurs surveillant ces équipements,

<sup>3</sup> Source : <https://www.cma-cgm.fr/detail-news/1841/accord-strategique-entre-total-et-cma-cgm-pour-la-fourniture-de-gaz-naturel-liquefie-destine-aux-futurs-porte-conteneurs-de-cma-cgm>

<sup>4</sup> **Norme EN 1473** : Le présent document donne des lignes directrices relatives à la conception, à la construction et au fonctionnement de toutes les installations terrestres de gaz naturel liquéfié (GNL) destinées à la liquéfaction, au stockage, à la vaporisation, au transfert et à la manipulation du GNL et du gaz naturel (GN). Ces exigences peuvent donc être appliquées au biométhane et au gaz naturel de synthèse (GNS). (Norme européenne)

<sup>5</sup> **Norme NFPA 59A** : Norme pour la production, le stockage et la manutention de gaz naturel liquéfié (GNL)

- des plans de circulation des véhicules et du personnel en exploitation et les accès pour les opérations de secours et de maintenance,
- des dispositions constructives adaptées au besoin de l'installation (dont les protections passives),
- de moyens de prévention et de protection (par exemple groupes électrogènes de secours, système de lutte incendie) opérationnels en toute circonstance.

À noter par ailleurs que la mise en place d'un service d'avitaillement GNL nécessitera, dans les ports, l'élaboration d'études techniques identifiant les principaux modes de défaillances du mode d'avitaillement prévu, ainsi que des propositions de mode opératoire visant à prévenir ces défaillances. En effet, même si les réglementations applicables aux opérations d'avitaillement dans les ports (réglementation relative au transport et à la manutention des marchandises dangereuses dans les ports maritimes, nationale (RPM) et locale (RLMD)) ne s'opposent pas à l'emploi du GNL marin, elles ne l'encadrent pas spécifiquement ce qui peut nécessiter une adaptation du RLMD. Or l'absence de dispositifs de sécurité suffisants pour protéger les camions-citernes situés sur les quais peut également conduire à exclure ce mode d'avitaillement de certains terminaux (conteneurs notamment).

## 4.2. Les risques et accidentologie

Ce chapitre rappelle sommairement les principaux dangers présents sur des installations Shore-To-Ship et un scénario générique d'accident. Dans une approche graduelle des dangers potentiels et inhérents à son activité, il faut considérer :

- le type de stockage : le GNL fait partie des hydrocarbures à basse température dans un état d'équilibre liquide/vapeur, ces caractéristiques ont un fort impact sur le choix de l'emplacement du stockage.
- des phases régulières de transfert de GNL à débit moyen entre le navire et les réservoirs de stockage/citernes, ayant une forte incidence sur le choix de la liaison entre le navire et la zone de chargement, la conception du quai en général<sup>6</sup>.
- la présence possible d'atmosphères explosibles, de contraintes thermiques et mécaniques sur les équipements liées aux variations de température en présence de gaz froids (fuites de GNL basse pression, de rejets haute pression de GNL ou d'évaporations).
- une zone portuaire recevant des navires de tout type dont micro-méthaniers qui pour leur chargement/déchargement doit être assuré par du personnel formé (cette tâche est souvent transférée à l'opérateur portuaire ; Gazocéan participe déjà aux formations du personnel des principaux ports français pour faire face aux besoins de soutage croissants des navires GNL ).

### Scénario générique d'accident avec du GNL

Le GNL s'écoule par la brèche et forme une nappe qui s'étend sur le sol (en fonction des conditions de pression et de la taille de la brèche, tout ou partie du GNL peut se vaporiser instantanément ; on parle alors de « flash »). Le GNL s'évapore au contact du sol et forme un nuage de gaz plus lourd que l'air qui se propage sous le vent de la fuite. Tant qu'il n'est pas suffisamment dilué le nuage contient une atmosphère explosible. En cas de présence d'une source d'ignition sur son chemin, le nuage s'enflamme et la flamme remonte le long du nuage jusqu'à la nappe de GNL située à proximité de la fuite. L'incendie de cette nappe de GNL produit un fort rayonnement qui peut endommager les structures environnantes ou propager le feu à d'autres parties des installations du port. Si sur son parcours le nuage est confiné dans une zone encombrée (par des équipements, des containers, un navire...), il y a un risque d'explosion avec des effets de surpression qui peuvent endommager les structures environnantes. Une étude de dangers permettra de recenser les dangers liés à l'installation prévue.

<sup>6</sup> Voir le Rapport T2.2.1 : Lignes directrices pour la localisation et le dimensionnement des installations portuaires de GNL ; qui analyse en détail le sujet

### 4.3. Zoom sur les zones gaz (ATEX et étendue)

Pour chaque zone soutage et de stockage de GNL, il faudra définir des zones ATEX : emplacement dans lequel une atmosphère explosive gazeuse est présente, ou dans lequel on peut s'attendre à ce qu'elle soit présente, en quantité suffisante pour nécessiter des précautions particulières pour la construction, l'installation et l'utilisation des équipements. Les emplacements dangereux sont classés en zones, d'après la fréquence et la durée de la présence d'une atmosphère explosive gazeuse, comme suit :

- **zone 0** : emplacement dans lequel une atmosphère explosive est présente en permanence, ou pendant de longues périodes ou encore fréquemment,
- **zone 1** : emplacement dans lequel il est probable qu'une atmosphère explosive gazeuse apparaîtra occasionnellement en fonctionnement normal,
- **zone 2** : emplacement dans lequel une atmosphère explosive gazeuse n'est pas susceptible de se présenter en fonctionnement normal mais qui si c'est le cas, peut persister uniquement sur une durée courte.

Ces prescriptions minimales visent à améliorer la sécurité des travailleurs susceptibles d'être exposés au risque d'atmosphère explosive, les zones géographiques où des atmosphères explosives peuvent se produire doivent être portées dans d'un document relatif à la protection contre les explosions. Ce document doit montrer que :

- les risques d'explosions ont été identifiés et évalués,
- les mesures adéquates ont été adoptées pour satisfaire aux obligations générales de prévention.

Le document définit les adaptations techniques ou organisationnelles au regard des risques potentiels identifiés. La démarche s'articule autour des phases suivantes :

- identifier les atmosphères explosives potentielles (inventaire des produits, analyse des procédés mis en œuvre, étude des dysfonctionnements potentiels, prise en compte du retour d'expérience de l'industrie),
- définir les zones à risques en fonction de la fréquence et de la durée de la présence d'une atmosphère explosive. Les réglementations distinguent généralement 3 zones telles que définies ci-dessus (Zones « 0 », « 1 » et « 2 » à quelques petites variantes près).
- identifier les sources d'inflammation potentielles (matériels électriques et électroniques, mécaniques, pneumatiques, hydrauliques, thermiques...),
- prendre des mesures de prévention et de protection :
- réduire le risque en agissant sur la nature, les quantités, etc. du combustible et du comburant quand cela est possible,
- éviter les sources d'inflammation (mettre hors zone dangereuse le maximum de matériel quand cela est possible),
- et enfin, à atténuer les effets des explosions et les effets thermiques.

L'étude de dangers est un recensement de tous les phénomènes dangereux susceptibles de se produire sur le site quelle que soit leur probabilité d'occurrence. Elle recouvre donc des événements fréquents (une ou plusieurs fois par an) à extrêmement rares (occurrence jugée inférieure à 1 fois tous les millions d'années). La réglementation ATEX, elle, s'intéresse plus particulièrement aux événements les plus fréquents (dysfonctionnements potentiels, exemple : fonctionnement ou fuite de soupapes). Cette complémentarité des deux approches conduit donc à compléter et approfondir notre description des zones où une atmosphère explosive est susceptible d'apparaître. Sur la base des obligations réglementaires et pour simplifier la conception et l'exploitation du terminal, ELENGY recommande les définitions suivantes :

- « Zone ATEX » : l'ensemble des 3 zones (Zones « 0 », « 1 » et « 2 ») telles que présentées ci-dessus et sur les bases de la « réglementation ATEX »,
- « Zone gaz étendue » : est une zone ou plusieurs zones englobant toutes les « zones ATEX » qui sont matérialisées ou signalisées et pour lesquelles des dispositions d'accès sont spécifiques au sens du code du travail en France (Zone verte sur le schéma),
- « zone de danger LIE » : est l'enveloppe des cercles de dangers LIE (Limite Inférieure d'Explosivité) des scénarios retenus dans l'étude des dangers. (Cercles mauves sur le schéma)

Les principes de définition et de délimitation de ces différentes zones sont illustrés dans le schéma ci-dessous indiquant la délimitation des zones susceptibles de contenir une atmosphère explosive<sup>7</sup>.

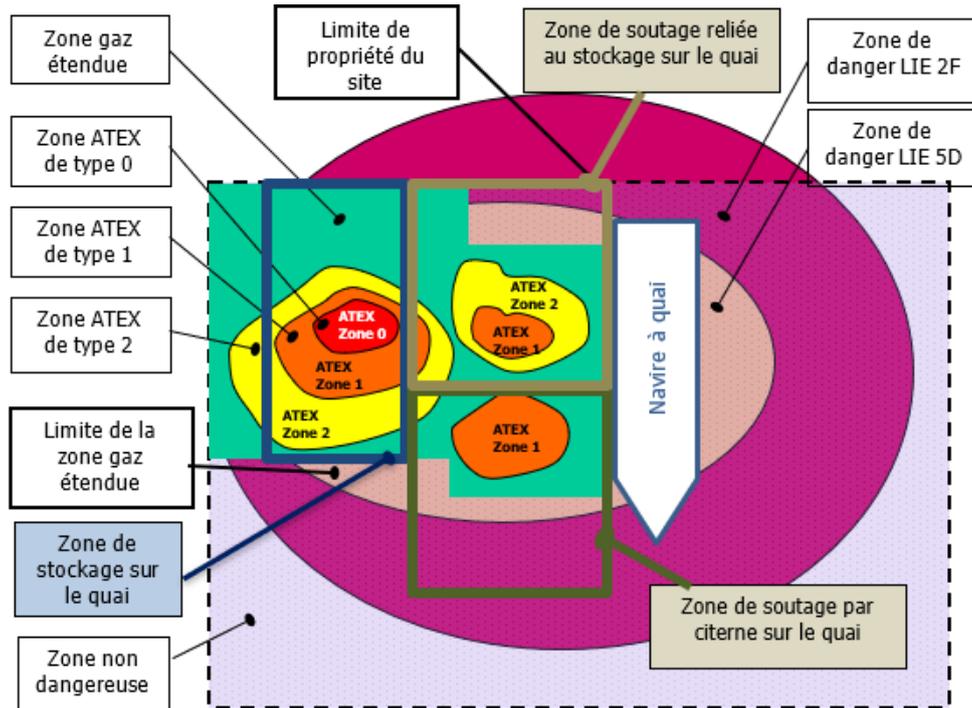


Figure 8 : Schéma indiquant la délimitation des zones susceptibles de contenir une atmosphère explosive

### Préconisations :

Il est fortement conseillé que :

- toutes les « zones ATEX » restent à l'intérieur des limites de propriété,
- la « zone gaz étendue » soit signalisée (a minima par un marquage au sol).
- d'éviter la création de zones « 0 ».
- à des fins de simplification, de regrouper l'ensemble des zones ATEX et de constituer la « zone gaz étendue » sensiblement plus étendue que la simple union des zones ATEX. Cela permet :
  - d'appliquer les mêmes règles en réponse à la réglementation ATEX dans toute la « zone gaz étendue » et d'homogénéiser le matériel et les procédures,
  - de pouvoir modifier sensiblement les installations sans avoir à faire des adaptations importantes sur les zones et les matériels ATEX.

<sup>7</sup> Nb : 2F et 5D sont des classifications données à titre d'exemple concernant la vitesse du vent (dans ce cas 2 et 5 mètres par seconde) et la stabilité de l'air ambiant, plus il y a de vent plus la zone LIE est petite car la dispersion est plus rapide, mais plus l'air est turbulent.

- le matériel utilisable en atmosphère explosive et plus particulièrement le matériel électrique, soit en adéquation avec la zone et le produit inflammable le plus contraignant pour cette zone, agréé et marqué conformément aux recommandations d'un laboratoire agréé selon le référentiel retenu,
- l'installation électrique soit vérifiée conformément à la réglementation applicable avant la mise sous tension et l'introduction des produits inflammables.
- d'utiliser les recommandations CEI pour la qualification des installations et des matériels électriques en zone « 0 »,
- d'uniformiser le matériel et les procédures à l'ensemble de la « zone gaz étendue »
- que les équipements contribuant à la sécurité et impactés par les scénarios génériques, soient situés dans deux emplacements distincts ne pouvant pas être touchés simultanément par un même rejet (par exemple les groupes électrogènes devant assurer une continuité de service) ou soient placés dans des bâtiments étanches qui empêcheront la pénétration de gaz lors du passage du nuage gazeux (qui ne peut être que très peu probable et de courte durée),
- que les bâtiments contenant du matériel électrique et contribuant à la sécurité soient également étanches,
- d'installer toute la partie tuyauterie dans des caniveaux (sous dalles si besoin), les tuyaux du fait de leur température, ne peuvent être enterrés ou coulés dans le béton ; en deuxième choix la solution de racks aériens peut être envisagée mais elle limite en hauteur le trafic sur le quai, cela reste malgré tout moins problématique que posés au sol. (les flexibles pour le chargement des citernes ne sont pas concernés dans ce point).

#### **4.4. Les études nécessaires durant le projet**

Pour construire un quai d'avitaillement GNL, il faudra au préalable avoir obtenu un retour positif de l'ensemble des études proposées ci-dessous (dans l'ordre chronologique) :

- 1) L'étude d'opportunité pour permettre de valider le Business Plan. Il est conseillé de réaliser en parallèle des études de marché pour confirmer les choix du Business Plan.
- 2) L'études de faisabilité pour apprécier le montant des investissements et valider l'aspect technique de la solution envisagée.
- 3) L'étude d'ingénierie de base pour définir le projet et préciser le montant d'investissement et faire les demandes de raccordement aux réseaux (routier, ferroviaires, électrique ou gaz).
- 4) Les études environnementales, les études de dangers et d'impact, d'hygiène et sécurité pour constituer le « Dossier de Demande d'Autorisation d'Exploiter » (DDAE). Prévoir un délai de 4 et 12 mois.

L'étude d'opportunité peut être réalisée en interne ou par l'entremise d'experts du secteur comme Elengy, Tractebel ou Gazocéan. Pour les autres études, des cabinets de consulting et des bureaux d'études seront consultés dans le cadre d'appels d'offres et les meilleurs seront retenus pour exécuter les prestations suivant un processus d'achat interne.

#### **4.5. Critères technico-économiques d'implantation**

En plus des règles d'implantation des équipements et des bâtiments découlant de l'étude de dangers et des contraintes liées à la sûreté du site, il est recommandé dans la mesure du possible, les critères d'implantation suivants :

- la minimisation des longueurs de tuyauteries GNL, du nombre de robinets et vannes,
- l'optimisation du nombre de croisements de tuyauteries, du nombre d'embranchements ou de départs afin d'éviter la mise hors service de plusieurs équipements importants par le biais d'un seul incident,
- la minimisation des longueurs de câbles électriques et de contrôle commande, dans le but de réduire les chutes de tension et d'éviter ainsi des sous-stations supplémentaires,
- la prévision des réservations nécessaires aux extensions futures afin d'assurer leur compatibilité avec les installations de la première phase et/ou la possibilité.

#### 4.6. Quelles réglementations ? par type d'installations

Le tableau suivant synthétise, pour les principales installations de stockage et de soutage GNL envisageables en milieu portuaire, le cadre réglementaire de référence associé<sup>8</sup>.

Activité	Caractéristiques	Cadre réglementaire associé
Stationnement de camions citernes GNL ou containers iso GNL	Aire de stationnement contiguë à un stockage fixe de GNL	ICPE 1414
	Aire de stationnement sans stockage fixe	ADR, TMD RPM, RLMD
Embarquement de citernes GNL à bord de navires / barges	Transport de GNL	Code IGC
	Propulsion au GNL	Code IGF
Transport terrestre de citernes de GNL	Camions, trains	ADR, TMD, RID
Stockage de GNL en station fixe	-	ICPE 4718
Chargement / déchargement	D'un navire souteur	1414-2b ou 2c
	D'un navire propulsé au GNL	1414-3
	Depuis/vers un stockage fixe soumis à autorisation (terminal GNL)	ICPE 1414-2a
	Entre un train et un camion	ICPE 1414-4
	Autres cas hors réglementation ICPE	RPM, police portuaire, RLMD
Remplissage	Remplissage d'iso containers GNL	ICPE 1414-1
Electrification de navires à quai	Groupes électrogènes alimentés en gaz naturel (vaporisation du GNL avant d'être brûlé)	ICPE 2910-A

Tableau 2 : Cadre réglementaire par type d'activités

Par ailleurs il existe aussi des préconisations au niveau international sur les installations d'avitaillement qu'il est intéressant de regarder :

- la Guidance on LNG Bunkering to Port Authorities and Administrations de l'EMSA<sup>9</sup>
- les recommandations pratiques de DNVGL-RP-0006: 2014-01 Recommendations Practices – Development and operation of liquefied natural gas bunkering facilities ou de la SGMF<sup>10</sup>

## 5. Quelles solutions de soutage et pour quel besoin ?

Parmi les paramètres clés à prendre en compte pour la construction d'un nouveau quai dédié à l'approvisionnement de navires GNL, le choix de la solution d'avitaillement est primordial. Ces solutions

<sup>8</sup> Pour plus d'informations concernant la réglementation, se référer à l'étude sur les « Lignes directrices pour la localisation et le dimensionnement des installations portuaires GNL en France » (Lot 1 -Livrable T2.2.1)

<sup>9</sup> Lien : <http://www.emsa.europa.eu/news-a-press-centre/external-news/item/3207-guidance-on-Ing-bunkering-to-port-authorities-and-administrations.html>

<sup>10</sup> Lien : <https://www.sgmf.info/>

nécessitent des investissements importants et qui peuvent dimensionner le design du quai et du port en général. Elles doivent répondre aux besoins des clients du port et doivent s'inscrire dans la stratégie du port, de la région ou du pays. Le besoin doit être qualifié (quels types de navire à souler ? en combien de temps ?) et quantifié (quelle fréquence d'escale ? quelle taille de cuve à souler ?) dans le temps, c'est particulièrement vrai pour la zone Marittimo où aucun navire GNL n'a croisé ses eaux en 2019 mais où de nombreux armateurs de la zone ont récemment passé commande de navires à propulsion GNL (Corsica Ferries, Moby Lines, GNV, MSC Croisiers pour ne citer qu'eux) pour des livraisons attendues entre 2020 et 2023. Ce chapitre donne ainsi quelques recommandations sur le besoin avant de détailler les différentes solutions d'avitaillement.

### 5.1. Le dimensionnement du besoin

Pour définir le volume de GNL à souler pour ses clients, le port doit prendre en compte le nombre d'escales de navires à souler en considérant la taille de leurs cuves, sur une période donnée. Le tableau ci-dessous donne une idée des volumes théoriques nécessaires par type de navire. Pour les grands porte-conteneurs en provenance d'Asie par exemple, la fréquence est réduite, à raison d'un mois par traversée, mais le volume à souler est très grand et selon les cas, supérieur sur une année comparé à des ferries effectuant plusieurs rotations par semaine mais dont le volume à souler est plus petit. Il est recommandé pour chaque port de définir avec les armateurs qui font escale chez lui le besoin à souler pour chaque navire, ce qui permettra au final d'identifier la solution adéquate. Il est également conseillé de prendre la décision d'investir dans des installations sur la base d'engagements fermes des clients.

Type de navire ou activité	Données de base indicatives			
	Consommation annuelle en m <sup>3</sup> GNL/an	Besoin en soutage en m <sup>3</sup> GNL/opération	Fréquence de soutage	Consommation journalière en tonnes
<b>Grand porte-conteneur (deep sea)</b>	50 000 à 85 000	7 000 à 17 000	~5 par an	200 t/j
<b>Navire de croisière</b>	45 000 à 80 000	1 800 à 4 000	2 par mois	150 t/j
<b>Porte-conteneurs (short sea)</b>	9 000 à 15 000	900 à 1800	5 à 8 par an	75t/j
<b>Ferry/Cargo roulier mixte</b>	18 000 à 35 000	300 à 700	1 par semaine	50t/j
<b>Navires de servitude</b>	3 000 à 6 000	30 à 300	1 à 5 par mois	25t/j
<b>Electricité à quai</b>		50	Par chargement	

Une fois le besoin défini, il est maintenant plus facile de choisir une solution de soutage adaptée tout en tenant compte de certains prérequis :

- La place disponible à quai ou à proximité.
- L'obtention des autorisations adéquates.
- La validation de toutes les études.
- Les possibilités d'approvisionnements possibles.

***Le besoin = volume à souler + fréquence pour chaque navire à souler***

## 5.2. Les solutions d'avitaillement GNL

Elément crucial dans la réalisation d'un quai d'avitaillement, le choix de la solution technique pour le soutage est déterminant pour le succès du projet. Il existe plusieurs solutions d'avitaillement GNL, elles ne sont pas toutes exécutables à partir du quai, elles peuvent être réalisées en mer là où le mouillage est possible. Certaines sont nouvelles et originales. Elles sont plus ou moins adaptées au volume de GNL à souter (comme le synthétise la figure 17 à la fin de la présentation des solutions) mais ont toutes été testées en conditions réelles. Des cas pratiques viennent illustrer chaque solution accompagnée d'un lien vers des articles de presse pour retrouver plus d'informations sur le sujet.

### 5.2.1. Le chargement par camions-citernes - Truck-To-Ship

Cette solution consiste à approvisionner le navire souté à quai avec un camion-citerne GNL (de 20 à 50m<sup>3</sup> ; 40m<sup>3</sup> en standard) par le biais d'un flexible ou d'un bras de chargement cryogénique. C'est la première solution à avoir été testée. Elle offre de nombreux avantages :

Elle est facile et rapide à mettre en place, la solution est proposée par de nombreuses entreprises qui rend compétitif son prix et l'opération peut être réalisée très rapidement sans investir dans la moindre installation. Elle est réalisable sur la plupart des quais sous réserve de disposer d'une place suffisante pour qu'un camion-citerne puisse manœuvrer et à condition d'avoir reçu préalablement l'autorisation du port.

La taille des cuves des navires à souter étant généralement supérieure à la taille moyenne d'une citerne (en dehors de la plupart des navires de servitude) une seule citerne ne peut assurer à elle seule un soutage complet. Pour gagner du temps, plutôt que de ramener plusieurs citernes soutant l'une après l'autre, cette solution est réalisable à partir de plusieurs camions-citernes connectés simultanément pour un même soutage : « le Mutli Truck-To-Ship bunkering ». Elle permet alors le soutage d'un petit ferry mais nécessite plus de place à quai. Cette solution devient elle aussi compliquée au-delà d'un certain volume. Pour un soutage de 500m<sup>3</sup>, il faut 10 à 12 camions-citernes, ce qui rend la logistique excessivement lourde ou le soutage trop long si on s'y prend en deux fois.

A moins d'un rechargement partiel, cette solution ne convient pas au soutage de grands navires comme les paquebots et les porte-conteneurs par exemple. Par ailleurs, la citerne doit être chargée auparavant dans un terminal équipé d'une station de chargement de citernes et seuls les terminaux méthaniers de Fos-sur-Mer en sont équipés sur le pourtour franco-italien.

#### Cas pratiques :

- 1<sup>er</sup> en France : avitaillement en GNL du paquebot de croisières AIDAprima le 10 mai 2016<sup>11</sup>.
- 1<sup>er</sup> en Espagne : chargement en MTTTS du Marie Curie de la Balearia<sup>12</sup> le 16 novembre 2019.
- Port où la pratique du MTTTS est pratiquée : Brunsbuttel à Elbehafen<sup>13</sup> (voir chapitre 8).

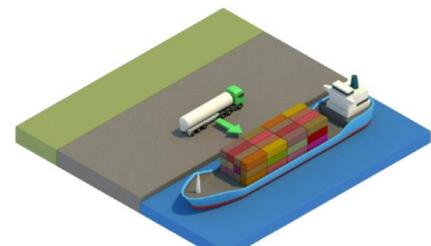


Figure 9 : Truck-To-Ship



Figure 10 : MTTTS - Mutli-Truck-to-Ship

<sup>11</sup> Voir l'article de presse : <http://www.petrole-et-gaz.fr/le-havre-premier-port-francais-a-realiser-lavitaillement-en-gnl-dun-paquebot-de-croisieres-6900/>

<sup>12</sup> Voir l'article de presse de la compagnie : <https://www.balearia.com/fr/sala-prensa/notas-prensa/bale%C3%A0ria-prueba-un-innovador-bunkering-de-gnl-de-alta-velocidad-en-el-ferry-marie-curie>

<sup>13</sup> Voir article de presse : <https://www.brunsbuettel-ports.com/lng-bunkering.html>

### 5.2.2. Le chargement depuis une station terrestre - Shore-To-Ship ou Port-To-Ship

Cette solution comprend une station satellite équipée d'un stockage à proximité du quai où le navire avitailleur et/ou le navire à souder viennent accoster. La capacité du stockage peut varier en fonction du besoin en soutage, de l'espace disponible à quai et des possibilités d'approvisionnement. Le stockage peut également être en dehors du port mais les connexions sont onéreuses et alourdiront le coût du projet si le stockage est trop déporté. L'investissement nécessaire est donc très variable, entre 500 000 euros et plusieurs dizaines de millions d'euros et implique également des études (de dangers notamment) et des démarches administratives pour l'autorisation d'installer et d'opérer le stockage. Sans navire avitailleur dédié au port (solution évoquée plus bas : voir Ship-To-Ship) les navires souhaitant se souder devront aller se positionner sur ce quai, ce qui rallongera le temps d'escale des navires et les manœuvres dans le port. Un couplage avec un navire de soutage en servitude est donc techniquement et commercialement plus pratique. La solution permet le soutage des plus grands navires et convient aux ports éloignés des terminaux méthaniers et pour lesquels l'accès par voie terrestre est difficile. A l'inverse, un port à proximité d'un terminal méthanier pourra s'équiper uniquement d'un navire avitailleur qui ferait la navette et qui assurera la partie stockage.



Figure 11 : Shore-To-Ship ou Port-To-Ship

La station est elle-même approvisionnée par voie maritime (ou fluviale, si possible) ou par voie terrestre. Pour cette dernière, il existe deux possibilités de remplissage du stockage :

- par camion-citerne. Dans ce cas, pour éviter de faire le remplissage du stockage à quai, il est possible de créer une station de chargement de l'autre côté du stockage. Cette station peut alors aussi servir de station-service pour tous véhicules tiers ou internes au port qui fonctionnent au GNL et/ou au GNC (produit à partir du GNL). L'union de ces deux stations forme ainsi un nœud de fourniture et d'approvisionnement GNL maritime et terrestre (voir cas pratique).



Figure 12 : Baie de chargement citernes GNL

- Par train. Ce qui nécessite évidemment d'avoir un accès ferroviaire au port. Deux possibilités dans ce cas : le train alimente un stockage de la même manière que décrit plus haut avec des camions ; ou bien la rame sert elle-même de stockage, les wagons-citernes ayant des délais avant dégazage assez élevés, jusqu'à 90 jours pour certains modèles. Un wagon contient environ 2,5 fois le volume d'une citerne (110m<sup>3</sup> vs 40m<sup>3</sup>). Si la technologie existe, elle n'est pas encore appliquée en Europe, elle est en cours de développement chez Elengy, pour une mise en service en 2023. Le ferroviaire permet de transporter de plus grands volumes et sur de plus grandes distances que le routier avec qui il est aussi compatible (report modal : il est possible de transférer des conteneurs standards de 40 pieds d'un wagon à une remorque routière et inversement). Enfin, c'est un moyen de transport fiable et vertueux écologiquement. Il répond aussi à des problématiques annexes comme la pénurie de chauffeurs long-courriers dans le secteur routier.



Figure 13 : Chargement d'une citernes depuis un wagon

## Zoom sur le stockage

Un stockage GNL dédié à l'avitaillement sert principalement de tampon entre les arrivées discontinues des approvisionnements (par barges, trains ou citernes) et les soutages, eux aussi, discontinus, toutefois programmables et répétés. La capacité du stockage dépendra du service de soutage offert par le port pour répondre au besoin de ses clients. Le stockage peut être constitué d'un ou plusieurs réservoirs, toutefois, ces réservoirs doivent être pressurisés pour éviter les problématiques de gestion des évaporations (BOG) qui s'autoréguleront par le va-et-vient des chargements et des déchargements. Dans le cas contraire, il faudra un circuit de reprise des BOG vers le stockage, en effet les règlements portuaires interdisent, en opération normale, tout rejet de gaz naturel par les navires et il n'est pas envisageable de brûler ces évaporations. Une fois la capacité retenue, le choix du nombre de réservoirs dépend aussi d'autres paramètres que sont : les limites techniques, le coût, la souplesse d'exploitation, la surface de terrain disponible, l'impact visuel, les extensions prévisibles, etc. Autant que possible, il est recommandé de disposer d'au moins deux réservoirs pour limiter le risque d'indisponibilité en cas d'unique réservoir, mais cela coûte plus cher. Il faudra dans ce cas arbitrer entre fiabilité du service et coût supplémentaire. Concernant la classification SEVESO<sup>14</sup>, le seuil (bas) d'autorisation est de 50 tonnes, au-dessus de 200 tonnes, l'établissement passe SEVESO seuil haut et le site doit avoir l'aval des autorités pour opérer. Selon les choix d'équipements pour son quai, le port sera ainsi plus ou moins concerné. A titre d'indication, le GNL d'un camion-citerne pèse environ 20 tonnes. Avec 50 tonnes, la réserve est trop petite pour permettre le soutage d'un ferry. Une solution Port-To-Ship nécessitera donc une autorisation.

## Cas pratiques :

- 1<sup>ère</sup> station GNL « Shore-To-Ship » d'Europe : le HUB du port d'Anvers composé d'une station de soutage GNL pour la navigation fluviale et d'une station-service GNV ainsi que des bornes de recharge rapide pour véhicules électriques pour le transport routier<sup>15</sup>.
- 1<sup>er</sup> Station Shore-To-Ship en Allemagne, à Cologne, en service continue 24h/7j<sup>16</sup>



Figure 14 : Vue conceptuelle de la baie de chargement citernes d'Anvers

### 5.2.3. Le transfert d'ISO à Navire

S'il n'existe qu'un seul exemple de ce type (voir cas pratique) la solution mérite tout de même d'être énoncée. En disposant de conteneurs ISO à quai, le port pourrait offrir un service de soutage pour des navires du même type que le Honfleur évoqué dans le cas, ou bien pour d'autres usages comme la production d'électricité. Les ISO de 20 et 40 pieds sont de taille standard et disponibles sur le marché, ils ont l'avantage d'être intermodaux, c'est-à-dire qu'ils peuvent à la fois être transportés par des camions et faire office de citernes, ou bien posés sur des porte-conteneurs ou des wagons-plateaux. Portés à une taille de 53 pieds, ils perdent leur intermodalité pour le maritime mais peuvent toujours être transportés par camions ou wagons-plateaux adaptés. Au-delà, ils ne peuvent emprunter la route que par convoi exceptionnel.

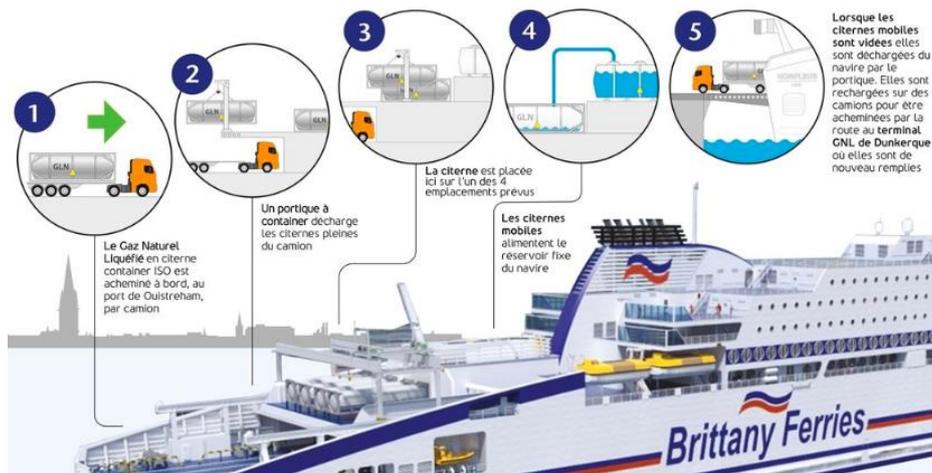
<sup>14</sup> **SEVESO** : se référer au classement de la rubrique 4718 sur les stockages. (Décret n° 2014-285 du 3 mars 2014, article 4, Décret n° 2015-1200 du 29 septembre 2015, Rectificatif au JO n° 235 du 10 octobre 2015 et Décret n°2017-1595 du 21 novembre 2017) Gaz inflammables liquéfiés de catégorie 1 et 2 (y compris GPL) et gaz naturel (y compris biogaz affiné, lorsqu'il a été traité conformément aux normes applicables en matière de biogaz purifié et affiné, en assurant une qualité équivalente à celle du gaz naturel, y compris pour ce qui est de la teneur en méthane, et qu'il a une teneur maximale de 1 % en oxygène)

<sup>15</sup> Lien vers la vidéo du projet : <https://www.youtube.com/watch?v=-vm3je-Aq-q>

<sup>16</sup> Lien vers l'article : <https://www.gnvmagazine.com/en/pitpoint-opens-europes-first-shore-to-ship-lng-bunker-station-in-cologne/>

**Cas pratique :**

- **le cas atypique du Honfleur** qui sera le premier navire à passagers au monde à avoir une logistique GNL par embarquement de conteneurs de 40 pieds par portique. Ses conteneurs sont acheminés par camion du terminal méthanier au port, puis grutés à bord à l'aide d'un portique conçu et imaginé spécifiquement pour ce navire afin d'alimenter un réservoir fixe de stockage de GNL situé à l'arrière du navire. Une fois vidés, ils sont redescendus à l'escale suivante puis récupérés et remplacés par des conteneurs pleins.



**5.2.4. Le soutage de navire à navire - Ship-To-Ship**

Cette solution consiste à souter un navire depuis un autre navire ou barge de soutage (aussi appelé souteur ou avitailleur) de 1000m<sup>3</sup> à 20 000m<sup>3</sup>, de coque à coque, à quai ou au mouillage. L'avitailleur aura auparavant chargé le GNL dans un terminal méthanier existant.



Figure 15 : Ship-to-Ship

Ce type de solution qui est largement utilisée pour les produits pétroliers, n'est limitée en volume et débit que par la conception du souteur. Elle présente de nombreux avantages parmi lesquels, le fait de pouvoir souter un navire à quai sans perturber les opérations commerciales de ce dernier (déchargement de conteneurs, de véhicules ou de personnes) et donc sans se déplacer vers un quai dédié au ravitaillement. Selon sa capacité, il peut souter n'importe quel navire fonctionnant au GNL (porte-conteneurs ou paquebots géants compris) ; et faire plusieurs opérations dans une seule journée. La rapidité du soutage est aussi inégalée par les autres solutions.

Il faut toutefois pouvoir investir entre 10M€ pour les plus petites barges à 80M€ pour les plus grands micro-méthaniers. Attention toutefois à la taille qui peut être limitante pour manœuvrer dans les ports. La mutualisation d'un avitailleur entre ports à proximité peut faciliter l'amorçage du marché alors qu'à plus long terme, il faudra plusieurs avitailleurs pour un seul port (à Marseille ou Gênes par exemple) pour assurer tout le soutage de leurs clients.

Après avoir été les pionniers du soutage GNL avec des camions-citernes, les ports du nord de l'Europe remplacent peu à peu cette solution de soutage en construisant des quais de soutage de GNL dédiés à un ou plusieurs avitailleurs en servitude dans le port. Déjà opérationnel depuis 2019 dans le port d'Amsterdam, un deuxième quai entrera en service en 2020 dans le port d'Anvers pour



Figure 16 : Vue conceptuelle des avitailleurs de Titan LNG qui équiperont les ports d'Amsterdam et Anvers en 2020



## Les Solutions d'avitaillements par taille de navires

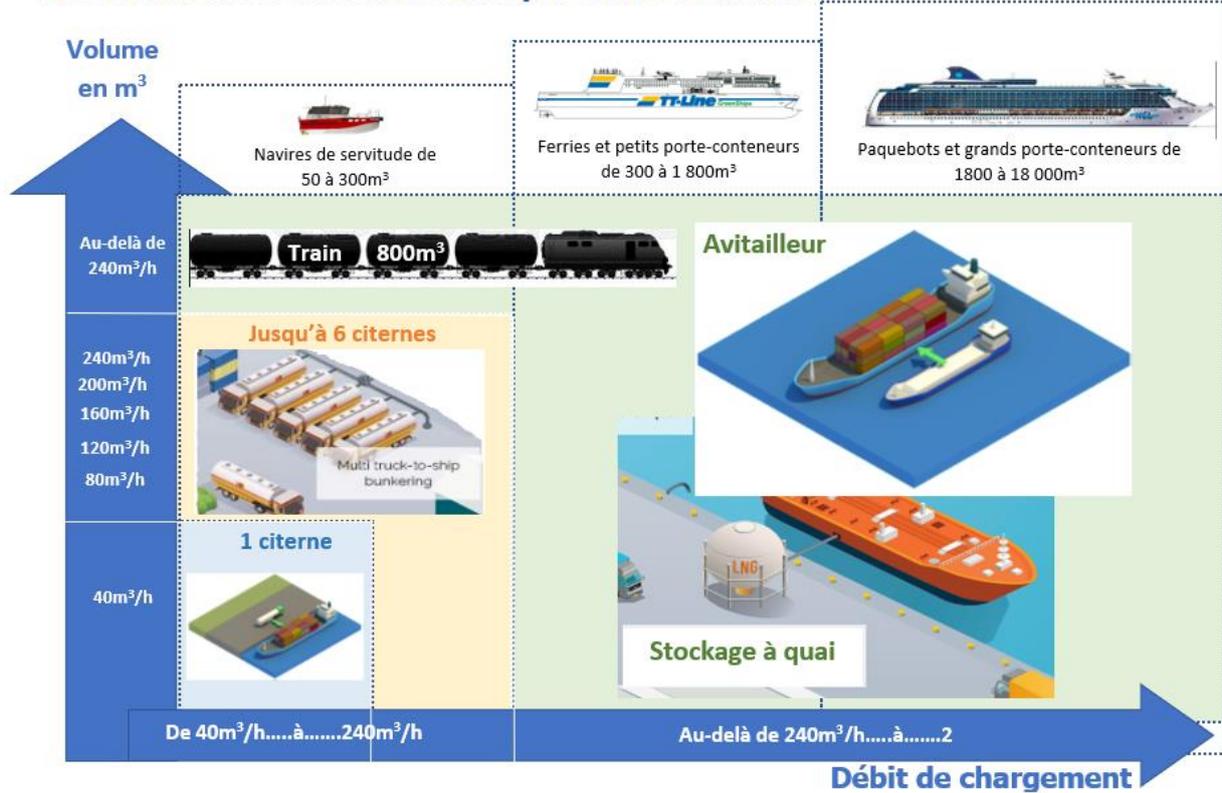


Figure 17 : Schéma des solutions d'avitaillement adaptées en fonction de la taille des navires

Troisième possibilité, le port possède à la fois un stockage et un avitailleur dédié, cette solution est à la fois la plus confortable pour le port mais aussi la plus coûteuse au final pour le client.

### 5.3. Eléments économiques

L'intégration du GNL dans le paysage des carburants marins sera fonction de sa compétitivité en terme de prix global payé par l'acheteur. Un facteur dimensionnant de ce prix est le coût de l'infrastructure qui permet d'amener le GNL jusqu'à la bride du navire à souder, que l'on retrouvera dans le prix de la prestation de soudage offerte au client. A titre indicatif, le tableau ci-dessous donne un ordre de grandeur des investissements nécessaires :

Camion-citerne	50 m <sup>3</sup> : 0,35 M€
Stockage à quai	150 m <sup>3</sup> : 0,5 - 1 M€
	300 m <sup>3</sup> : 2 - 3 M€
	1 500 m <sup>3</sup> : 6 - 10 M€
	7 000 m <sup>3</sup> : 10 - 40 M€
Navire de soudage	10 000 m <sup>3</sup> : 20 - 45 M€
	20 000 m <sup>3</sup> : 40 - 60 M€

Le camion-citerne correspond à l'investissement unitaire le moins élevé. La solution est modulaire et requiert peu d'investissements ce qui peut être particulièrement intéressant en phase de démarrage. Néanmoins, elle est limitée par le volume à souler et ne peut convenir durablement qu'à de petits besoins. Dès que l'on envisage une solution avec stockage GNL à quai de taille significative avec ou sans navire avitailleur, l'investissement sera plus conséquent. Évidemment, plus le stockage est grand, plus il coûtera cher, plus il faudra vendre de volumes pour rentabiliser les investissements, à défaut, c'est le prix du service qui sera trop élevé et qui n'intéressera pas le client. Par ailleurs, même pour traiter de grands volumes de soutage, avec une chaîne d'approvisionnement performante, la taille du stockage peut être modeste (moins de 5 000m<sup>3</sup>). Il est donc important de trouver pour chaque port, la solution d'approvisionnement la plus adaptée (dans le temps notamment), en passant, le cas échéant, par des étapes intermédiaires. Notons que, contrairement à l'infrastructure de distribution des produits pétroliers dont une partie est déjà amortie, celle du GNL carburant est tout juste naissante en France. Aussi, les coûts d'infrastructures seront proportionnellement plus lourds et ce, alors que l'on est encore dans la phase d'amorçage du marché.

Pour répondre plus en détail à ce point, il est conseillé de lire les conclusions du rapport d'étude T2.2.2 « Analyse critique du ravitaillement dans les 7 ports » du projet GNL FACILE, qui propose des solutions pour les 7 ports de la zone Marittimo à partir de l'outil « Optiretail » qui vise à optimiser les routes d'acheminement de GNL. L'outil propose un programme de tournées adossé à une solution d'avitaillement GNL à partir d'éléments de contextes existants (terminaux dans la zone, distance, prix des services, etc...).

#### **5.4. La question de l'approvisionnement de la solution d'avitaillement**

Dernier point structurant à ne pas négliger dans le choix de la solution d'avitaillement : la fourniture en GNL de l'infrastructure d'avitaillement au sein du port (voir figure ci-dessous) . En effet, la chaîne d'approvisionnement GNL étant encore limitée dans la zone, les solutions d'avitaillement vont être fortement limitées par ce point. Pour charger un camion-citerne ou un conteneur ISO par exemple et le proposer au soutage dans un des ports de la zone Marittimo, aujourd'hui seuls les terminaux Tonkin et Cavou de Fos-sur-Mer sont équipés de baies de chargement. Il est donc difficile pour les ports éloignés de ce point de s'en procurer. Cette solution n'est donc pas économique et réaliste en l'état pour le port de Civitavecchia, le plus éloigné des ports de la zone, mais pourrait l'être si une station de chargement de camions-citernes venait à ouvrir à proximité.

A l'inverse, la disponibilité à l'apportement pour venir charger des navires avitailleurs sur les terminaux méthaniers de la zone est plus grande. Quoi qu'il en soit, les ports devront discuter avec les terminaux méthaniers pour concevoir des chaînes d'approvements GNL complètes. L'arrivée du GNL transporté par wagons (prévue à Fos en 2023), apportera de nouvelles perspectives sur ce plan et peut être une solution là où l'accès poids lourds transportant des matières dangereuses (comme c'est le cas pour le GNL) dans les ports est difficile ou interdit. Dans les îles, les possibilités d'approvisionnement sont plus limitées et donc plus coûteuses. La fourniture de petits volumes est compliquée par la réglementation (pas de transports d'ISO sur des ferries emportant des passagers par exemple) et le coût d'approvisionnement encore plus grand. Ce dernier point devrait obliger les ports de ces îles à trouver une solution d'approvisionnement commune en un point donné, et à faire la distribution locale des ports à partir de ce point. Ce point pourrait d'ailleurs être une centrale électrique fonctionnant au GNL comme détaillé plus haut dans les solutions. La Sardaigne devrait disposer de terminaux méthaniers d'ici quelques mois, ce qui permettra de distribuer du GNL directement depuis un méthanier.

Néanmoins, la mise en place d'une chaîne logistique simple et économique reste possible, notamment dans une démarche privée où l'on peut compter sur le soutien d'opérateurs de terminaux et de distributeurs GNL rodés à cet exercice.

## Solutions d'approvisionnements GNL

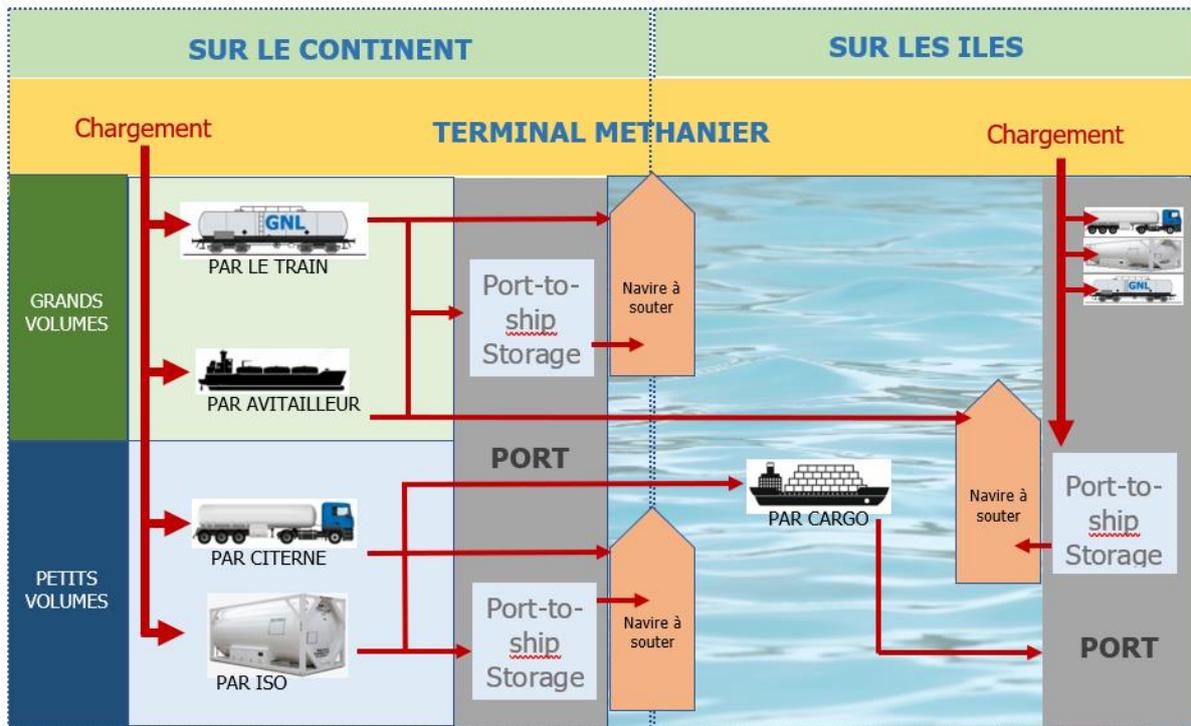


Figure 18 : Illustration du circuit d'approvisionnement en GNL, du terminal au navire à souler

## La taille des solutions d'approvisionnements GNL

 <p>1 ISO Conteneur :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 38m<sup>3</sup> de GNL</li> <li>- 16 tonnes de GNL</li> </ul>	 <p>1 citerne camion</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 42m<sup>3</sup> de GNL</li> <li>- 19 tonnes de GNL</li> </ul>	 <p>1 train complet</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 800m<sup>3</sup> de GNL</li> <li>- 800 tonnes de GNL</li> </ul>	 <p>1 micro-méthanier</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 11 250 m<sup>3</sup> de GNL</li> <li>- 5 000 tonnes de GNL</li> </ul>
<p><b>PETITE</b></p> <p>Rapporté à 1 citerne : ➔ X 1</p>	<p><b>MOYENNE</b></p> <p>➔ X 2,5</p>	<p><b>GRANDE</b></p> <p>➔ X 120</p>	

Figure 19 : Les solutions d'approvisionnement selon leur taille

## 6. Le GNL comme solution de fourniture électrique des navires à quai

Le GNL peut être utile aux ports pour une fonction différente de celle du carburant, il peut aussi être utilisé pour générer de l'électricité à quai à travers différentes solutions, il peut ainsi remplir une double fonction et offrir des solutions à une thématique majeure des ports : l'électrification à quai pour les navires en escale. En effet, pour leur propre consommation, les ports sont naturellement branchés au réseau électrique national. Toutefois,



Figure 20 : Ferry de la Méditerranée à quai branché à quai

pour proposer un service d'électrification à quai à ses clients et ainsi éviter les émissions polluantes et les nuisances sonores lors des escales, il faut disposer entre autres :

- **des conditions techniques adéquates** (réseau électrique en amont en capacité d'assurer la demande électrique qui peut se traduire par de forts pics de consommation, et si possible à partir d'énergies vertes tels que les EnR).
- **de suffisamment d'espace à quai**, l'électrification à quai nécessite au minimum les trois installations électriques suivantes : un transformateur de voltage, un convertisseur de fréquence Hertz et une armoire de distribution équipée des dispositifs de sécurité, il faut alors disposer de l'espace suffisant pour ces installations. Les câbles peuvent être enterrés jusqu'aux bornes à quai ou au système de liaisons entre le quai et le navire (enrouleur, potence).
- **d'une demande suffisamment grande** pour couvrir l'investissement des installations dédiées qui se traduit souvent au final par un taux d'occupation du quai à dépasser pour couvrir les Capex et Opex du projet. Une demande trop sporadique même économique, pourrait pousser le port à s'équiper d'une solution GNL détaillée plus bas.

Ces trois critères sont difficiles à réunir, certains grands ports comme celui de Marseille les réunissent et peuvent déjà proposer une connexion électrique pour l'alimentation à quai des navires<sup>20</sup>, mais cette solution « idéale » n'est pas possible partout. C'est par exemple le cas pour la ville d'Ajaccio qui ne possède qu'une centrale thermique fonctionnant au fioul ne produisant pas la puissance nécessaire à l'alimentation à quai, et où l'électrification ne reviendrait qu'à déplacer la pollution si la centrale en était d'ailleurs capable. Dans ce genre de cas, des alternatives sont possibles grâce au GNL qui intervient via plusieurs technologies dans des offres de fourniture électrique à quai dont voici deux cas concrets :

### 6.1. La centrale mobile GNL pour fournir l'électricité à quai des navires

Idéale pour les îles et les petits ports sans grande puissance électrique et même pour de très grands ports qui ont une longueur de quai importante, cette solution a l'avantage d'éviter au port les investissements et les démarches liées à une installation permanente.

A Ajaccio justement, la compagnie maritime La Méridionale a testé en 2018 un dispositif de fourniture d'électricité à base de GNL disposé sur le quai (voir cas pratique) Cette solution mobile nécessite de l'espace à quai où est placé tout le

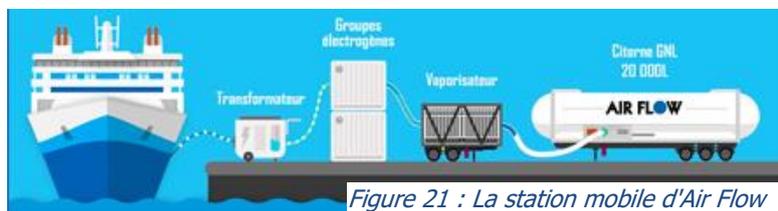


Figure 21 : La station mobile d'Air Flow

dispositif qui consiste in fine, à brûler du GNL dans des groupes électrogènes en passant par une étape de regazéification du GNL, puis de conversion de l'électricité au format attendu par le navire. Les Ateliers mécaniques de Lorient (AML) et Siemens proposent une solution identique en cours de tests par la compagnie Suardiaz dans les ports de Vigo, Barcelone et des Canaries<sup>21</sup>.

Toutefois, pour que cette activité se développe, il faudra faire évoluer la réglementation nationale qui distingue le GNL combustible du GNL marchandise et considère les citernes pour ce type de solution comme du GNL marchandise, ce qui rend impossible leur transport par des navires embarquant des passagers. Autre déséquilibre réglementaire : l'électricité produite à bord du navire n'est pas taxée contrairement à celle produite hors du navire et transmise par un câble. Ce qui ne va pas dans le sens de la baisse des émissions polluantes offerte par cette solution. Par ailleurs, cette solution peut convenir jusqu'à une certaine taille de navires, à hauteur de 2 MW de puissance, au-delà, comme pour les paquebots par exemple, cette solution ne convient plus, il faut passer à la station flottante comme décrit au prochain point.

<sup>20</sup> Article sur l'électrification du port de Marseille : <https://www.usinenouvelle.com/article/marseille-electrifie-les-quais-des-ferries.N863765>

<sup>21</sup> Voir l'article de presse : <https://www.meretmarine.com/fr/content/navires-quai-un-moteur-au-gaz-pour-fournir-lelectricite>

### Cas pratiques :

- 1er ravitaillement électrique réalisé pendant une escale avec un dispositif de fourniture d'électricité à base de GNL (Airflow) disposé sur le quai le 20 septembre 2018<sup>22</sup>

### 6.2. La barge GNL flottante – LNG Power Barge

De la même manière que l'avitailleur GNL réalise un soutage accolé à un autre navire, des barges GNL peuvent fournir une alimentation électrique générée à partir de GNL. Avec cette solution, plus de contraintes d'espace disponible ou de frais d'études pour disposer d'un stockage à quai pour ce service, la barge se déplace dans le port au gré des besoins, néanmoins elle doit elle-même se souder en GNL, il faut donc au préalable avoir une solution d'approvisionnement en amont. De nombreux projets de barges, plus ou moins avancés existent (de MS, Kawasaki, Daiho ou Wison notamment), et une barge de la compagnie Becker LNG est déjà opérationnelle dans le port d'Hambourg depuis 2016<sup>23</sup>.



Figure 22 : Barge GNL d'alimentation Electrique à Hambourg

### Cas pratiques :

- L'alimentation en électricité du paquebot AIDASol en escale à Hambourg les 22 et 23 juin 2016<sup>24</sup>

### 6.3. La centrale mobile GNL flottante – Power-to-grid

Toujours sur la base d'une alimentation GNL, de nouveaux projets de centrales flottantes pour alimenter des navires ou directement un réseau électrique (power-to-grid) voient le jour depuis 2019, souvent sur la base d'un navire FSRU (Floating Storage Regasification Unit) qui peut regazéifier du GNL. Cette solution peut intervenir dans des grands ports pour combler un besoin en énergie terrestre ou maritime mais nécessite une autre solution de remplacement pendant la maintenance du navire et peut ne pas fonctionner si le navire n'est pas protégé des fortes houles.

### Cas pratiques :

- Officialisation d'une collaboration entre Japan's Mitsui O.S.K. Lines (MOL) et Turkey's Karpower International <sup>25</sup>
- Approbation du projet de Chiyoda Corporation<sup>26</sup>



Figure 23 : L'un des 17 navire-centrales de Karpower, leader sur ce créneau

<sup>22</sup> Voir l'article de presse : [https://www.lantenne.com/La-Meridionale-presente-sa-solution-de-raccordement-electrique-a-quai-pour-la-Corse\\_a44390.html](https://www.lantenne.com/La-Meridionale-presente-sa-solution-de-raccordement-electrique-a-quai-pour-la-Corse_a44390.html)

<sup>23</sup> Voir le lien vers la compagnie <https://www.becker-marine-systems.com/products/product-detail/becker-lng-hybrid-barge.html>

<sup>24</sup> Lien vers l'article de presse : <http://staging.seatrade-cruise.com/news/news-headlines/lng-hybrid-barge-works-flawlessly-becker-marine-asserts.html>

<sup>25</sup> Lien vers l'article de presse : <https://www.maritime-executive.com/article/mol-and-karpowership-collaborate-on-floating-lng-power-plants>

<sup>26</sup> Lien vers l'article de presse : <https://maritime-quote.com/chiyodas-floating-lng-power-plant-concept-receives-approval-principle-abs>

## 7. Les dernières innovations

Pour répondre à la question du comment sont ou seront construits les quais de demain, il paraît intéressant de s'informer des dernières innovations qui commencent pour certaines à venir équiper les quais et étoffer les services des ports.

### 7.1.1. La ventouse d'amarrage

Le système Moormaster de Cavotec<sup>27</sup> pour l'amarrage rapide des navires est un système de ventouses pour coller le navire aux défenses du quai, c'est un système 2 en 1 qui offre de nombreux avantages. Premièrement, le temps d'amarrage d'un navire est considérablement réduit : de 20 à 90 minutes à quelques secondes pour l'amarrage, quand le largage peut être lui accompli en quelques secondes. Ces gains de temps permettent de démarrer plus rapidement le déchargement des cargos et des ferries. De plus, les bandes d'amarrage ne sont plus nécessaires. L'opération est menée par une seule personne, par télécommande, soit directement depuis le pont du navire, soit par le personnel du port à terre. Ces « ventouses » équipent déjà les quais de nombreux pays parmi lesquels le Danemark, la Finlande, les Pays-Bas, ou la Norvège.



Figure 24 : Les amarres ventouses de Cavotec

### 7.1.2. la barge GNL multi fonction

Dernière innovation en matière de barge d'avitaillement, la barge multifonction de la société Sofresid (une société d'ingénierie appartenant au groupe Saipem), une barge qui en plus du soutage GNL, offre également la fourniture électrique jusqu'à 20 MW (en plus de la conversion de la fréquence de 50Hz à 60Hz pour les navires), ainsi que la récupération des eaux de ballast, des résidus de scrubbers et des déchets, une solution intéressante pour faciliter la mise en œuvre du tri sélectif et la collecte des déchets des navires qui est un autre sujet de préoccupation important.<sup>28</sup>



Figure 25 : La barge multifonction de Sofresid

### 7.1.3. Le quai GNL mobile flottant

Développé par l'entreprise norvégienne Connect LNG, le système de transfert universel flottant sans jetée est un quai mobile équipé de tuyaux aériens légers et flexibles qui sont hissés du pont de la plateforme par la grue du navire pour être connectés au collecteur du navire. Cette solution permet le transfert de navire à terre, de terre à navire ou de navire à navire, et est compatible avec



Figure 26 : La jetée mobile de Connect LNG

une large gamme de navires et de terminaux sans aucune modification. Elle est aussi adaptée pour supporter tous les diamètres de lignes de transfert pour répondre à toutes les exigences de résistance, de débit, de perte de pression et d'ébullition que l'on peut connaître lors d'un soutage. En plus de sa grande flexibilité, cette solution permet la réinstallation ou la revente si la demande à un certain endroit change au fil du temps, réduisant ainsi le risque d'investissement.<sup>29</sup>

<sup>27</sup> Lien vers la vidéo commerciale : <https://www.youtube.com/watch?v=NWsUCDyKQdQ>

<sup>28</sup> Voir lien vers la vidéo de présentation : [https://www.youtube.com/watch?v=D\\_g2EIZwdGk](https://www.youtube.com/watch?v=D_g2EIZwdGk)

<sup>29</sup> Voir lien vers le site de Connect LNG : <https://www.connect-lng.no/>

#### 7.1.4. L'Outil de calcul des zones de dangers pour une zone de soutage

BASiL (Bunkering Area Safety information LNG)<sup>30</sup> est un outil automatisé de la SGMF qui permet de calculer la dispersion de gaz GNL. Vous entrez les données de votre opération et il vous indiquera votre distance de travail sécurisée, qui est l'élément critique de votre opération de soutage pour obtenir le bon résultat. Il est conçu pour vous aider à gérer les risques de soutage de manière cohérente dans l'ensemble de l'industrie via la définition d'une zone de sécurité qui dépend du type d'opération de soutage entreprise et de la taille déclarée de cette zone.

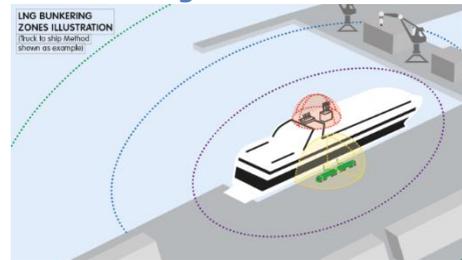


Figure 27 : Représentation de l'outil BASiL de la SGMF

#### 7.1.5. Le navire hybride GNL multi fonction



Figure 28 : Le navire hybride de Knude Hansen

La série GG5G (Grimaldi Green 5th Generation) conçu par le bureau d'études danois Knud E. Hansen<sup>31</sup> intègre **des batteries lithium-ion qui permettent d'éteindre les moteurs pendant les escales**, évitant ainsi les émissions polluantes dans les ports. Ces rouliers se serviront également de cette source d'énergie pour optimiser leur consommation en mer lors des appels de puissance (« peak shaving »). **Les batteries seront rechargées pendant les phases de navigation**,

notamment grâce à 600 m<sup>2</sup> de panneaux solaires. Afin de réduire la consommation en carburant (GNL ou autres), les futurs rouliers du groupe Grimaldi seront par ailleurs équipés d'un système générant un matelas de bulles d'air sur la carène, ce qui facilitera la pénétration dans l'eau. La coque sera, de plus, peinte avec un revêtement présenté comme non toxique, à base de silicone. Il vise à réduire le développement d'organismes marins qui génèrent au fil du temps des effets de friction et donc des efforts à l'avancement. Au final, les gains énergétiques attendus par rapport à un navire traditionnel de capacité équivalente sont annoncés à 50%.

#### 7.1.6. Les drones volants

L'usage des drones est pratiquement sans fin premiers secours : la construction, la cartographie, les missions de sécurité ou de premiers secours, la surveillance des émissions des navires ou des fuites de gaz ou de liquides, la livraison de colis ou les relais de communication... Pour des usages portuaires, des drones sont déjà en service dans de nombreux ports, terminaux et installations maritimes à travers le monde qui sont chaque année plus nombreux à s'en équiper. En mars 2015 par exemple, le port de Wilhelmshaven en Allemagne, s'est associé à Airbus pour livrer le tout premier petit colis via un drone terre-navire au port de Singapour<sup>32</sup>. Certains calculs avancés laissent entendre une réduction des coûts terre-navire de 90%.



Figure 29 : Représentation de drones effectuant une livraison de colis

<sup>30</sup> Lien vers le site : [https://www.sgmf.info/why-us/#ships\\_in\\_operation](https://www.sgmf.info/why-us/#ships_in_operation)

<sup>31</sup> Lien vers l'article : <https://www.knudehansen.com/news/innovative-ro-ro-designs/>

<sup>32</sup> Voir lien vers l'article : <https://www.wilhelmshaven.com/ships-agency/maritime-drone-delivery/>

### 7.1.7. Digitalisation des services portuaires

La digitalisation de la gestion des ports et de l'économie portuaire est un phénomène mondial qui est en pleine accélération, des ports comme ceux de Singapour, Rotterdam ou Hambourg travaillent sur ces avancées numériques pour améliorer leur compétitivité. Pour répondre à ce besoin, l'entreprise SINAY a développé une plateforme d'intelligence artificielle dédiée aux industries maritimes qui permet un suivi environnemental en temps réel des ports. Des tableaux de bord de suivi des paramètres météo-océanographiques ont par exemple été réalisés pour les ports de Cherbourg (eaux marines, air, bruit sous-marin, bruit aérien, houle). A partir de ces paramètres, l'outil permet de produire des alertes de dépassement de seuils et des modélisations prédictives (bruit sous-marin, présence de mammifères marins).

## 8. Les quais dédiés au ravitaillement GNL dans les autres ports européens

Dans la zone Marittimo, les installations sont encore peu nombreuses comme le montre la carte suivante de l'association GIE (Gas Infrastructure Europe)<sup>33</sup> où l'on dénombre 3 zones distinctes :

- Au nord-ouest : les terminaux méthaniers de Tonkin et Cavaou, tous deux équipés d'une station de chargement de camion-citernes.
- Au nord-est, les terminaux méthaniers de Paniglia et de Livourne (OLT – Offshore LNG Toscana) qui ne sont pas équipés de stations de chargement camions-citernes pour des raisons géographiques.
- Au sud, à Oristano en Sardaigne, le terminal Higas devrait être mis en service en 2020, 4 autres projets plus ou moins avancés sont attendus sur l'île.

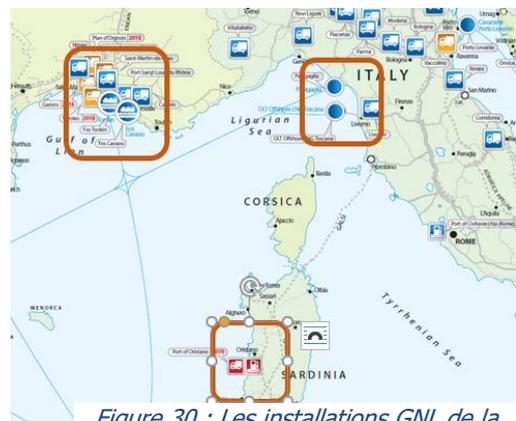


Figure 30 : Les installations GNL de la zone Marittimo en 2019

En Europe du Nord, les ports hébergeant des solutions d'avitaillement GNL sont déjà très nombreux. On y trouve tous les profils : Truck-To-Ship, Shore-To-Ship, Ship-To-Ship...

**Comment sont construits les quais dédiés à l'avitaillement GNL dans les autres ports européens ?** Pour répondre à cette question, il faut regarder du côté des ports d'Europe du Nord qui sont en avance par rapport à la façade sud de l'Europe notamment du fait de la mise en place d'une zone ECA depuis 2011, alors qu'elle ne devrait voir le jour qu'en 2022 en Méditerranée<sup>34</sup>. Ce chapitre présente quatre exemples différents de ports proposant un avitaillement GNL : le Terminal d'Halhjem en Norvège est pionnier en terme d'installations, c'est un bon exemple pour les ports accueillant des lignes régulières de ferries. Le port de Brunsbüttel en Allemagne est un port de vrac solide, c'est un bon exemple pour le démarrage du service d'avitaillement. Le terminal GNL de Gibraltar est intéressant du fait du couplage de l'installation avec une centrale électrique à gaz. Enfin le port de Klaipeda en Lituanie propose une solution assez rare d'un site de stockage satellite small scale alimenté depuis une unité de stockage flottante (FSRU) en amont.

<sup>33</sup> Lien vers la carte du GIE : <https://www.gie.eu/index.php/gie-publications/maps-data/lng-map>

<sup>34</sup> Lien vers le site du ministère de la transition écologique et solitaire: <https://www.ecologie-solidaire.gouv.fr/projet-zone-reglementation-des-emissions-polluants-eca-en-mer-mediterranee>

### 8.1. Le Ferry Terminal d'Halhjem (Norvège)

Au terminal de ferry de Halhjem en Norvège, Chart Industries a fourni deux réservoirs de stockage de 500 m<sup>3</sup> pour permettre à l'opérateur de ferry Fjord1 d'accoster ses navires. L'approvisionnement des deux réservoirs de stockage horizontaux s'effectue par camions-citernes pour le soutage ou le remplissage des réservoirs de stockage. Les réservoirs de stockage se connectent via un tuyau d'interconnexion isolé sous vide (en anglais : vacuum insulated piping - VIP) de 100 m sous la chaussée et sont reliés à l'extrémité du quai à un bras de chargement pour le soutage des navires.

Dans cet exemple, le besoin correspond à un soutage de petits ferries dans un espace réduit au fond d'un fjord. La fréquence soutenue et continue des ferries oblige le port à disposer d'un petit stockage qui sert de tampon entre un approvisionnement de petits volumes de GNL par camions qui peut se faire indépendamment des escales ou le ferry n'a besoin que de quelques heures pour remplir ses deux cuves de 125m<sup>3</sup>. Pour limiter les risques, la tuyauterie passe sous la zone d'embarquement des véhicules pour rejoindre un bras cryogénique surélevé dans une zone protégée par un muret en bordure du quai (voir figures 32 et 33 ci-dessous). Cette disposition des installations est assez répandue dans les ports opérant



Figure 33 : Vue aérienne du terminal d'Halhjem



Figure 32 : Espace réservé au bras de chargement

des ferries.

Un autre exemple (voir figure 31) dans le port de Risavika près de Stavanger qui est un bel exemple de réalisation d'un quai pour ferry. Un bras cryogénique est installé en bordure du quai et protégé par des grillages. L'emprise au quai ne dépasse pas les 3,50 mètres de large pour une vingtaine en longueur. L'espace pour le stationnement des véhicules en attente du chargement n'est pas obstrué tandis qu'une

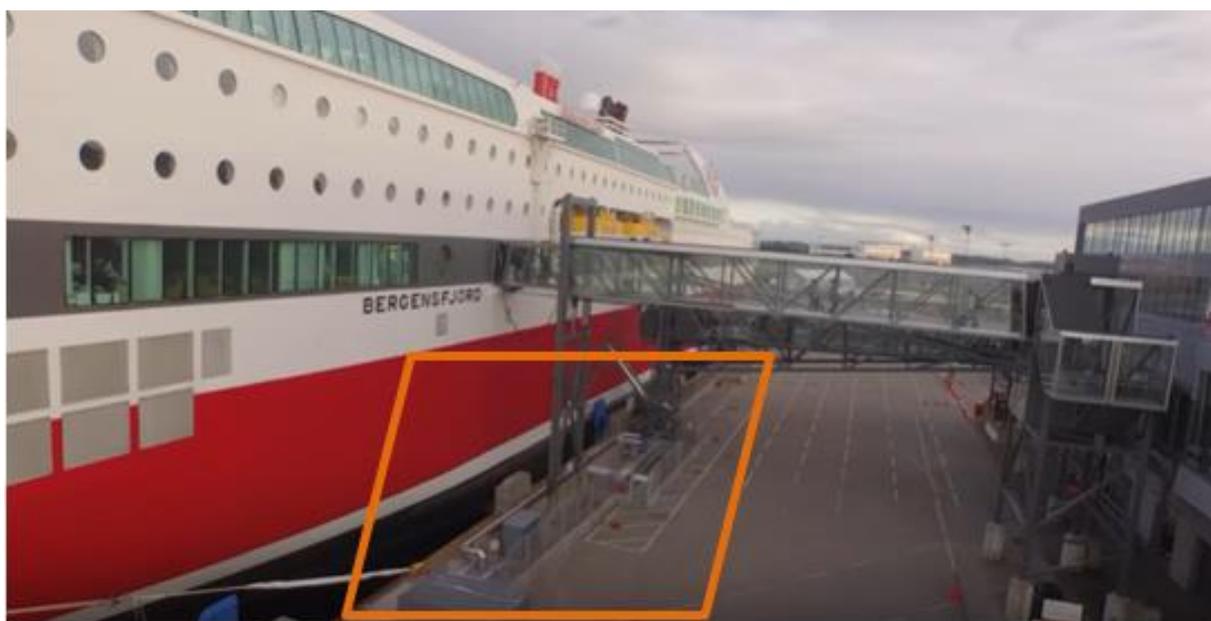


Figure 31 : Photo du terminal de ferry de Risavika en Norvège

passerelle pour l'embarquement piétons enjambe le tout. A noter également la présence des ventouses d'amarrages présentées plus haut.

## 8.2. Le port de Brunsbüttel (Allemagne)

Le port d'Elbehafen Brunsbüttel s'est avéré à plusieurs reprises être un emplacement approprié pour l'avitaillement en GNL. Bien que le quai n'ait pas été conçu pour le soutage à la base, ce petit port offre de nombreux avantages : loin des zones d'habitations et à l'embouchure de l'Elbe, il dispose d'une dalle suffisamment grande pour le soutage de navires à partir de plusieurs camions-citernes en simultanée (MTTS). Ce type d'opérations a été intégré dans les procédures du port qui a pour conséquence de ne plus nécessiter de permis individuels, les soutages peuvent dès lors se faire sans permis à Elbehafen. Cela a considérablement simplifié les opérations de soutage du GNL, même par rapport à d'autres emplacements portuaires, et accélère considérablement les procédures administratives. C'est dans ce port également qu'a eu lieu la première opération de soutage de GNL de navire à navire dans un port allemand, dans le cadre d'un contrat de fourniture entre deux entreprises locales, DEME et Nauticor, le soutage par avitailleur a remplacé les précédents soutages faits par camions-citernes. Cette opération impliquait la drague « Scheldt River » qui opère sur l'Elbe, recevant 300m<sup>3</sup> de GNL de l'avitailleur « Kairos »<sup>35</sup>.



## 8.3. Le terminal GNL de Gibraltar

La station satellite GNL de Gibraltar est un exemple intéressant car en plus d'offrir un service d'avitaillement en GNL, elle alimente une centrale thermique de 40MW de puissance nominale et 80MW en pointe qui couvre les besoins de toute la ville (cf. figure 34 ci-dessous). Le GNL est approvisionné par SHELL à partir de micro-méthaniers jusqu'à 12 500m<sup>3</sup> (tirant d'eau de 8m) environ deux fois par mois. Pour des raisons de sécurité les navires ne peuvent être présents à quai que la nuit lorsque les autres activités portuaires et aéroportuaires sont minimales. Dans un environnement très contraint, entre la piste de l'aéroport et le port de croisière, la construction a été réalisée en 12 mois environ. Le stockage est composé de 5 cuves pressurisées de 1000m<sup>3</sup>, il dispose de capacités de regazéification à

<sup>35</sup> Voir lien vers l'article : <https://www.greenport.com/news101/lng/first-ship-to-ship-bunkering-at-german-port>

l'aide d'échangeurs STV (Shell and Tubes Vaporizer) alimentés en eau chaude par la centrale. La pression de livraison est de 8 bar.

Un bras GNL a été installé sur le quai pour le déchargement des micro-méthaniers. Pas de bras gaz. Le débit de déchargement est limité à 1 200 m<sup>3</sup>/h.

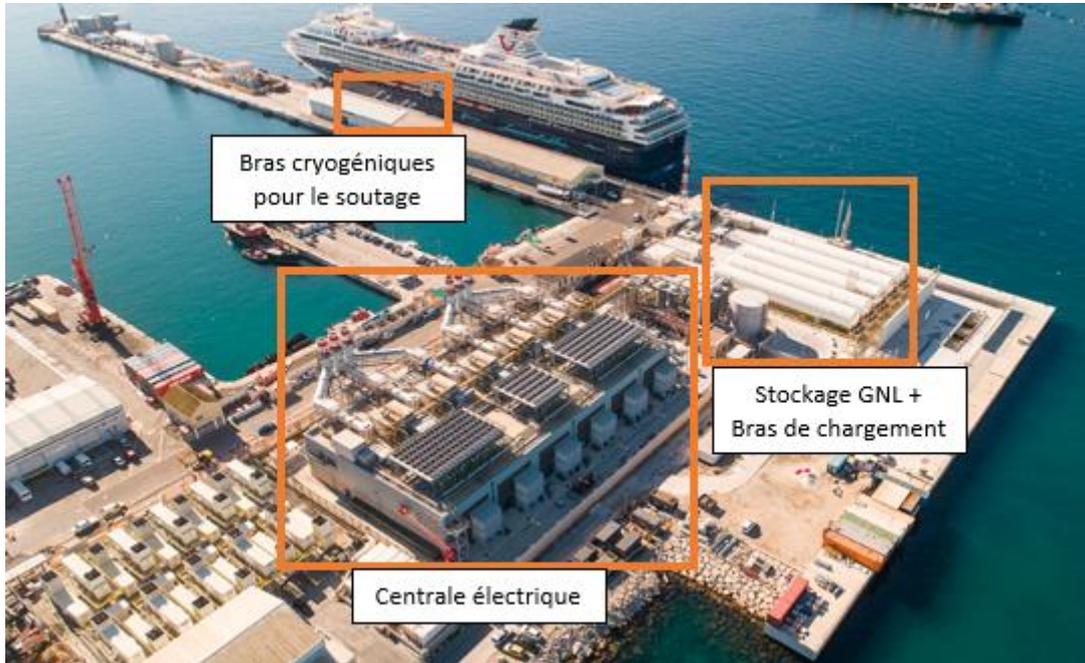


Figure 34 : Vue aérienne du terminal GNL de Gibraltar

#### 8.4. Le port de Klaipeda (Lituanie)

Un dernier exemple intéressant pour illustrer cette étude concerne le port de Klaipeda en Lituanie, qui combine deux installations de GNL distantes de 7 Km :

- Une FSRU (Floating Storage Regasification Unit) Hoegh LNG qui est en leasing jusqu'en 2024.
- Une station satellite pour alimenter le marché Small Scale des pays baltes et du nord-ouest de la Pologne.

La FSRU est raccordée au réseau de transport interconnecté aux autres pays baltes et à la Pologne. Elle a un rôle important pour le pays en permettant de faire face à une interruption d'alimentation du gaz russe tout en introduisant une concurrence salutaire pour ses sources d'approvisionnement. Elle constitue un stockage flottant qui peut faire le lien entre son approvisionnement Large Scale et une activité de Bunkering Small Scale.

L'« Independence », c'est son nom, est située pratiquement à l'extrémité du port industriel de Klaipeda. Elle est amarrée à un appontement en « îlot » construit sur ducs d'albes. L'accès se fait par une petite embarcation. Elle a été mise en service en 2014 et dispose d'une capacité de stockage de 170.000 m<sup>3</sup> répartis dans 4 cuves.



Figure 35 : Vue satellite du port de Klaipeda

Le déchargement (rechargement de la FSRU) se fait en Ship-To-Ship avec un jeu de flexibles de 10 pouces. Le débit max est de 9 000m<sup>3</sup>/heure. La fréquence de déchargement est d'environ 2 navires par mois. Le rechargement se fait également en Ship-To-Ship dans des micro-méthaniers comme le Coral Energy d'une capacité de 15 000m<sup>3</sup>. Le débit max est de 1 000 m<sup>3</sup>/heure. Le GNL rechargé alimente la station satellite de Klaipėda.

La station de GNL est située à l'entrée du port à proximité de dépôts de produits pétroliers. Elle couvre les besoins en GNL Small Scale de la Lituanie, des Pays Baltes et du nord de la Pologne (mobilité routière, clients industriels au GNL et Bunkering). Elle dispose de 5 réservoirs pressurisés de 1000m<sup>3</sup>. Le chargement des cuves se fait à partir de micro-méthaniers. Le quai de déchargement, construit dans les années 60, est commun à un dépôt pétrolier. Il est situé à environ 100 m de la station. Ce quai dispose de 2 flexibles de GNL en composite, suspendus dans un cadre métallique et d'un flexible acier pour le retour de BOG. Les débits de déchargement et rechargement sont respectivement de 1200m<sup>3</sup> de GNL/heure et 500m<sup>3</sup> de GNL/heure. Cette solution pourrait convenir pour la Corse ou la Sardaigne.



Figure 36 : Vue aérienne de la station GNL de Klaipėda

## 9. Synthèse d'un projet de construction de quai d'avitaillement

Pour construire un quai d'avitaillement GNL, il faudra donc prévoir les éléments suivants :

- La bonne réalisation des études qui valideront toutes les étapes du projet et définiront la solution de soutage. Ces études devraient aussi définir certaines procédures comme développé dans le point 4.1 (procédures d'exploitation, plans d'implantation des équipements, plans de circulation...).
- Les espaces nécessaires à tous les équipements de la solution de soutage (et de fourniture électrique).
- Une chaîne d'approvisionnement fiable pour la solution de soutage (logistique rail possible)
- Les équipements classiques d'un quai : défenses, amarres et bras cryogéniques protégés si nécessaire
- L'obtention des autorisations de souder.

## 10. Conclusion :

Avec l'arrivée de la norme « OMI Sulfur 2020 » effective au 1<sup>er</sup> janvier 2020 et la mise en place éventuelle d'une zone ECA prévue en 2022, les armateurs vont de plus en plus adopter la propulsion au GNL pour leurs futurs navires. Ces navires seront introduits progressivement dans la zone Marittimo au fil des réalisations des chantiers navals (environ 2 paquebots par an et par chantier). Pour répondre aux besoins des armateurs, les ports doivent proposer un service de soutage GNL. Il est possible de démarrer rapidement ce service via du Truck-To-Ship sur des quais déjà existants, le temps de concevoir les installations futures correspondant aux besoins d'un marché mature aux volumes GNL plus importants.

Pour les ports de petite taille de la zone, la solution Truck-To-Ship reste flexible, sans investissement nécessaire et peu encombrante, elle peut s'inscrire dans la durée. Si une ECA en Méditerranée qui fixe une teneur limite en soufre plus stricte de 0,10%, venait à être confirmée, la transition pourrait même être plus rapide.

Pour les ports de la zone Marittimo, l'enjeu est multiple, mettre en place la solution d'un service d'avitaillement GNL permet d'être plus attractif et répond au besoin des compagnies maritimes et au défi de la transition énergétique, mais il doit se faire sans désoptimiser l'activité portuaire existante. Les solutions existent et sont variées. La production d'électricité à partir de GNL est aussi à étudier car elle peut avoir un poids très important dans le besoin en GNL du port, principalement dans les îles où les capacités de production électrique sont plus limitées que sur le continent. De plus, ces solutions doivent s'accompagner d'une logistique d'approvisionnement adaptée. Les projets d'infrastructures sont nombreux et devraient faciliter cet aspect dans un futur proche. Les ports doivent rajouter dans leurs infrastructures existantes, ce nouveau carburant, qui prendra de plus en plus de place, car amené à remplacer les carburants existants. Un challenge que les ports ont déjà relevé dans le passé, lorsque les carburants maritimes d'aujourd'hui ont remplacé le charbon. Toutefois le GNL embarque une spécificité technique supplémentaire : le cryogénique. L'aspect sécurité, de la conception à l'exploitation sera central.

Malgré tout, la zone Marittimo dispose de plusieurs atouts comme la présence de terminaux méthaniers à proximité et d'un trafic maritime très dense le long de ses côtes. Elle profite aussi de la présence et l'expérience de nombreuses entreprises locales poussées par un public sensibilisé aux problématiques environnementales mais qui ne l'est pas encore sur les bénéfices du GNL. Sur ce point des efforts de communication devront être faits car le GNL est encore trop perçu comme une énergie fossile. Le prix du GNL (plus favorable en Europe qu'en Asie) et la réglementation promettent aussi une croissance durable et rassurante pour toute la filière GNL. La zone Marittimo peut aussi profiter de l'expérience de certains ports d'Europe du Nord qui ont déjà pu expérimenter plusieurs solutions qui constituent les meilleures réponses pratiques aux interrogations de cette étude.