



HAL
open science

**Les enjeux portuaires de l'adoption du GNL comme
carburant Contextes, projets et stratégies des acteurs
portuaires Rapport d'étude pour la Fondation SEFACIL
Responsable scientifique**

Antoine Beyer, Mariantonia Lo Prete

► **To cite this version:**

Antoine Beyer, Mariantonia Lo Prete. Les enjeux portuaires de l'adoption du GNL comme carburant Contextes, projets et stratégies des acteurs portuaires Rapport d'étude pour la Fondation SEFACIL Responsable scientifique. [Rapport de recherche] Fondation Sefacil. 2019. halshs-02514721

HAL Id: halshs-02514721

<https://shs.hal.science/halshs-02514721>

Submitted on 22 Mar 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Les enjeux portuaires de l'adoption du GNL comme carburant

Contextes, projets et stratégies des acteurs portuaires

Rapport d'étude pour la Fondation SEFACIL

Responsable scientifique : Antoine BEYER, professeur

Laboratoire MRTE - Université Cergy-Pontoise

Mariantonia LOPRETE, enseignante chercheuse à l'Université du Littoral
(Dunkerque)

Octobre 2019

Sommaire

Argument et contexte de l'étude	4
Orientations	9
Périmètre géographique de l'étude.....	9
Démarche.....	9
Le GNL, éléments de cadrage	12
Un éclairage technique sur le GNL.....	12
Le gaz naturel, une énergie triple A ?	13
Une réponse partielle au défi environnemental.....	16
Les solutions envisagées pour réduire l'empreinte environnementale du carburant marin	18
L'approche économique du GNL marin	23
Les stratégies possibles des armateurs.....	28
Le positionnement des ports	30
Cadre juridique, actions, adaptations et risques associés à l'utilisation du GNL comme carburant marin	45
Évolution du cadre juridique international et européen	45
Typologie des actions proposées par le législateur et champs d'application.....	50
La nécessité d'adaptations du cadre juridique national à tous les niveaux de la chaîne d'approvisionnement en GNL	56
Les risques associés à l'évolution du cadre juridique en faveur de l'utilisation du GNL comme carburant marin	58
Le GNL carburant marin, une très lente diffusion.....	59
L'estimation de la flotte mondiale propulsé GNL et son évolution	62
L'équipement des ports pour le soutage GNL	66
GNL marin : les perspectives nord-américaines.....	69
Amérique du Nord : un contexte en apparence favorable au GNL	69
Un marché unifié mais peu porteur	71
La multiplication des ports d'export « large scale GNL ».....	72
Un potentiel limité pour les modes terrestres	73
Le GNL au Canada	76
Le Mexique.....	77
Le GNL marin dans le contexte extrême-oriental	78
Japon	79
Le boom chinois du Gaz Naturel	81

Une réglementation environnementale plus stricte dans les ports chinois.....	86
Les solutions GLN dans les ports du Benelux	89
L'usage du GNL comme carburant dans les ports de la Baltique	94
La Norvège, un pays pionnier	101
La Finlande, l'enjeu industriel.....	102
Suède, un accompagnement volontaire du GNL.....	103
La Pologne, un nouvel acteur du GNL.....	104
L'Allemagne : un retard à combler	104
Perspectives.....	106
Le GNL marin en Méditerranée	107
L'Algérie, une longue tradition d'exportation du GNL	107
L'Égypte, une complémentarité pétrole/gaz comme levier de développement	107
L'Italie, un soutien actif à l'utilisation du GNL comme carburant marin	108
L'Espagne, un pays méditerranéen très orienté vers le GNL.....	110
L'option GNL dans les ports français	112
L'établissement tardif d'un schéma national en 2016.....	112
Une préfiguration des services par façade	116
De la Mission ministérielle de coordination à la PTF française du GNL carburant	117
Sources bibliographiques	123

Argument et contexte de l'étude

Le GNL, un carburant à fort potentiel

Le GNL (gaz naturel liquéfié) résulte du conditionnement du méthane à basse température (-162°C). Il permet de réduire le volume à transporter dans un rapport de 1 à 600. Cette technique, d'abord dévolue au transfert massif de gaz naturel par les voies maritimes à des fins industrielles ou pour alimenter les grands distributeurs a été plus récemment envisagée comme carburant alternatif pour les navires mais aussi pour les transports terrestres (rail, route et voie d'eau), même si ses conditions d'utilisation sont plus complexes que le pétrole.

Les avantages offerts par le GNL sont multiples. Il supprime les polluants locaux tels le soufre, les suies et les particules qui sont libérés par la combustion des fiouls lourds et dans une moindre mesure des fiouls distillés. C'est là un point central dans la recherche d'une diminution de l'impact environnemental souhaité pour la navigation et une réponse des armements maritimes à l'imposition de normes plus sévères dans les zones d'émission contrôlées (zones ECA et SECA). La multiplication des sources d'approvisionnement et l'importance des réserves mondiales, fait du GNL (et plus généralement du gaz naturel sous sa forme gazeuse) un carburant de substitution dont le coût a par ailleurs fortement diminué. L'usage du GNL suppose une remotorisation, et l'investissement peut être compensé par un coût du carburant plus faible. L'urgence climatique pousse les acteurs économiques du transport maritime et leurs donneurs d'ordre vers de nouvelles solutions technologiques pour la propulsion des navires. Toutefois, le contre-choc pétrolier engagé à partir de 2009 rend la diffusion d'une solution économiquement soutenable moins attractive et tend à freiner considérablement la diffusion du GNL dont les projections tendent à repousser le décollage. Aujourd'hui des signes tangibles dont la commande de grands porte-conteneurs dotés de cette technique par la GMA-CGM semblent donner des signaux encourageants. Seront-ils cette-fois décisifs dans un contexte globalement attentistes du monde maritime ? Contrairement à des technologies alternatives mais moins matures, le GNL considéré comme un carburant de transition offre donc une option viable qui est de plus en plus souvent considérée comme un bon compromis vers une progressive décarbonation du secteur.

Le gaz naturel a l'avantage de disposer d'un marché structuré et d'infrastructures de distribution qui ne cessent de s'étoffer avec une singulière accélération au cours de la dernière décennie. Le boom du GNL n'est pas lié à son usage comme de carburant pour le transport. Il répond à une forte demande des ménages pour le chauffage et pour la génération d'électricité propre. Cette demande accompagne le recul de l'usage du fioul domestique et le choix politique de la fermeture des centrales thermiques au charbon. Le recours au GNL pour approvisionner le marché s'est imposé pour des raisons économiques autant que géopolitiques, se traduisant par la souplesse dans la diversification géographique des approvisionnements pour les pays consommateurs et des débouchés pour les pays producteurs. En Europe, le choix du GNL est ainsi dominé le souhait de s'autonomiser par rapport au fournisseur russe. Le fort développement du marché du gaz naturel a conduit à un fort accroissement de la flotte de méthaniers et la capacité unitaire des navires. De nombreux terminaux maritimes ont développé de nouvelles capacités de stockage et offrent potentiellement la base d'un réseau logistique solide pour assurer la redistribution de cette énergie en tant que carburant. Outre la diffusion géographique, le jeu des économies d'échelles aux différentes étapes de la production et de la distribution ainsi que l'accroissement de la concurrence sont

des leviers supplémentaires qui devrait en faire baisser encore le coût et jouer en faveur d'un usage du GNL marin.

La centralité des ports dans un dispositif élargi

Conçu pour des transferts de longue distance, le transport de GNL s'opère quasi exclusivement par voie maritime. Liquéfié dans un port d'exportation, il est ensuite regazéfié dans le port d'importation. Apparu au milieu des années 1970, dans les échanges maritimes, son caractère spécialisé a jusqu'ici surtout bénéficié à quelques hubs majeurs, spécialisés comme tête d'alimentation des réseaux gaziers nationaux et pour partie à vocation continentale. Les besoins d'installations de grande taille liées à un trafic très spécialisé a parfois pu conduire à des choix d'implantations concentrés sur quelques grands terminaux à l'écart des autres flux maritimes. Or, le potentiel de trafic que représente le GNL intéresse aujourd'hui les ports de toutes tailles qui cherchent à diversifier leurs potentiels, à pérenniser leurs fonctions énergétiques, notamment pour l'industrie qu'elle a générée et enfin à compenser les pertes de volumes et de droits portuaires liés au recul des énergies classiques (charbon et du pétrole). La disponibilité en gaz naturel présente en outre un attrait potentiel pour les navires propulsés au GNL, pour lesquels les ports doivent être en mesure d'assurer l'avitaillement. La disponibilité du GNL et son prix pourrait ainsi à l'avenir déterminer le choix des ports d'escale.

Toutefois, en l'état actuel, les cuves de stockage conçues pour l'usage industriel du GNL et leur réinjection dans les réseaux de gazoducs terrestres s'avèrent inadaptées dans cette fonction de soutage. Il faut alors concevoir des systèmes de distribution du carburant à une échelle plus locale. Cette dernière peut alors s'opérer sur de faibles distances et par plus petites quantités, par conduite depuis des cuves de petites capacité ou *small scale terminals* soit directement vers le navire (*terminal to ship*), soit par camion (*truck to ship*) ou encore par bateau (*ship to ship*). Ces ajustements supposent la définition de normes et de standards techniques et des investissements spécifiques.

A l'échelle portuaire, l'enjeu est bien sûr environnemental, puisque le GNL réduit les émissions des bateaux notamment lors de leurs manœuvres dans le port et à quai. Il peut aussi être une ressource partagée pour la génération de courant de quai et pour l'alimentation des engins de manutention. Certains ports, notamment les ports fluviaux envisagent aussi la mutualisation de cette ressource énergétique avec des services extra-portuaires (transports publics, camions d'évacuation des déchets ménagers etc.) pour en amortir les investissements et atteindre des effets de volumes plus faciles à atteindre pour les grands sites maritimes et au-delà de jouer une fonction de redistribution régionale.

On peut également concevoir que le GNL portuaire alimente les besoins spécifiques des couloirs de transport continentaux dont ils sont l'exutoire naturel pour le transport routier ou fluvial. Il pourrait alors se révéler stratégique dans la structuration des arrière-pays. On le voit le risque de ne pas afficher des capacités d'avitaillement ou de ne pas être en mesure d'offrir un service risque à terme d'avoir de lourdes conséquences pour les places portuaires qui en seraient dépourvues. Or, tous les ports ne peuvent cependant prétendre au même rôle dans la chaîne logistique de diffusion du GNL. Aussi, ce dernier risque-t-il alors d'être un facteur d'amplification de la hiérarchie portuaire au sein d'une façade ou du moins de facteur de différenciation. Tous les ports, même parfois des ports importants comme Le Havre ou Hambourg ne disposent pas de terminaux méthaniers. Sont-ils pour autant écartés de la course ? De quels moyens disposent-ils alors pour offrir du service d'avitaillement attendu ? A l'inverse, disposer de telles

installations n'est pas en soi suffisant pour garantir une fonction de redistribution, encore faut-il se situer sur les itinéraires naturels des grandes voies maritimes. Or les choix de localisation ont pu suivre d'autres logiques, liées à des sources d'approvisionnement ou à des politiques d'aménagement. Toutefois, certains hubs mondiaux comme Rotterdam, Singapour, traditionnels pivots pour le soutage de fuels lourds sont aussi des pôles majeurs pour le GNL et ont toutes les chances de maintenir leur attractivité si la nouvelle donne s'imposait. La réévaluation des fonctions et des relations entre ports maritimes se trouve ainsi potentiellement bousculée par l'adoption de ce nouveau carburant.

La question que pose l'adoption du GNL comme carburant est de fait technique et financière. Tant sur le plan des navires et des unités fluviales que pour les nouvelles installations portuaires qui doivent pouvoir bénéficier d'implantations dédiées au soutage et s'inscrire dans les plans d'aménagement et de circulation existants. Par qui seront-elles financées ? A quel prix ? dans quels espaces peut-on développer les nouvelles interfaces ? Quelles précautions faut-il prendre avec les installations existantes ? Quels sont les modèles économiques et techniques de telles installations ? Comment les différents acteurs portuaires à travers le monde se saisissent-ils de cette problématique ?

Aujourd'hui, la perspective d'adoption de l'offre GNL est envisagée sérieusement par les diverses parties prenantes. Elle impose des investissements spécifiques que les acteurs du transport hésitent moins à envisager. La crainte qui a pu exister du côté des armateurs de ne pouvoir s'approvisionner s'efface progressivement. L'attentisme qui avait été jusque-là de rigueur, semble s'estomper. Le rôle des instances politiques internationales et nationales en fixant des normes de pollution plus sévères et en soutenant les expérimentations ou subventionnant les installations ont pour partie répondu à la question de l'amorçage.

Dépassant les solutions locales, le consortium *Probunkers* (Athènes) qui est réputé pourvoir relayer la communauté des armateurs grecs sur le sujet, a élaboré un schéma global. Il consiste à équiper 7 nœuds portuaires majeurs (Fig.1) avec une flotte de navires avitailleurs en propre et ainsi répondre de manière réaliste à 38% des besoins mondiaux. Cette solution présente un positionnement intégré, puisque le consortium jouerait à la fois le rôle de fournisseur avec une flotte propre et de vendeur du GNL (trader). Cette option rapidement esquissée et mobilisant plus de 350 M\$ sur 10 ans reste en soi très incertaine, mais elle a l'avantage de mettre en lumière la possibilité de l'émergence rapide de solutions à travers des réseaux globaux structurés (<https://www.Ingworldnews.com>, mars 2019).

Figure 1. Les nœuds portuaires majeurs à équiper d'avitaillement GNL d'après le consortium Probunkers (2019) Source Ingworldnews).



Des soutiens publics dédiés à l'équipement terrestre et des annonces maritimes

Dans de nombreux cas (Union Européenne, Chine), la puissance publique a pris le parti de subventionner les premières installations dans le cadre de projet d'équipement à plus large échelle, souvent plus terrestres que maritimes. Les annonces gouvernementales au profit des énergies vertes ne sont pas toujours suivies des faits à la hauteur des ambitions affichées. Par ailleurs, le gaz naturel n'est pas forcément privilégié par rapport à d'autres options énergétiques. L'engouement actuel autour de l'électrification du parc automobile préoccupe bien plus les pouvoirs publics eu égard à l'enjeu industriel qu'il revêt. Certains s'interrogent même ouvertement sur le bien-fondé de classer le gaz naturel et particulièrement le GNL comme énergie verte, du fait de l'origine fossile de cet hydrocarbure. Elle serait alors au mieux une énergie de transition à restreindre à certains modes de transport. Par ailleurs les fuites inévitables du méthane lors des opérations d'avitaillement feraient perdre les gains de CO₂, alors que ce gaz à un pouvoir de réchauffement bien supérieur au CO₂. Les controverses sont loin d'être éteintes comme le rappelle à l'automne 2019 l'étude de l'ONG européenne *Transport & Environment* (T&E) qui avance que les camions alimentés au GNV seraient susceptibles d'émettre six fois plus d'oxydes d'azote (NOx) que le diesel. Encore faut préciser, en conditions urbaines (autour de 20 km/h), ce qui n'est pas la référence pour ni pour l'usage, ni pour le mode considéré ici.

Les grands couloirs continentaux articulés aux ports constituent des espaces d'accueil privilégiés du fait de la concentration des trafics et des acteurs. Si la faiblesse des cours du pétrole a constitué un frein important à l'adoption de cette nouvelle technologie, l'autre facteur qui en a limité sa diffusion est l'adoption tardive de normes internationales, autant pour les installations que pour les procédures. Le standard ISO n'a ainsi été défini que début 2017. D'autres incitations, ont pu intervenir pour soutenir cette évolution : ainsi la fixation des normes d'émission qui renchérissent les techniques classiques sans les interdire. Leurs applications réduites aux mers bordières ont surtout poussé les caboteurs et ferries à la transformation, sans pour autant condamner le recours au scrubber pour retenir les particules (lavage de fumées). Des navires mixtes (GNL, fuel) sont aussi envisageables mais à des coûts alors bien plus élevés. L'adaptation des unités navigantes existantes s'avère onéreuse, aussi l'adoption du GNL est-il plus envisagé pour des navires neufs. Dans cette conversion, les navires de croisière sont appelés à jouer un rôle de premier plan, à la fois car le gaz naturel assure un meilleur confort aux passagers (moins de vibrations, moins de bruit) qu'il est susceptible de redorer l'image du secteur pointé pour ses rejets atmosphériques). Le premier navire de croisière propulsé au GNL a été lancé en 2016 (Aida Prima) et devrait rapidement être suivi par d'autres unités.

Néanmoins, le nombre de navires alimenté au GNL reste encore limité ; le lancement d'unités équipées pour cette technique reste remarqué, signe de leur caractère encore exceptionnel à ce stade. Le succès potentiel du GNL repose sur le déploiement systémique d'une technique qui pose la question de sa territorialisation. La distribution et le conditionnement suppose un maillage fin d'un système et la conversion des industries. D'autres usages du GNL sont envisagés pour les véhicules terrestres, les bateaux, mais aussi les trains et les poids-lourds.

Pour les ports (qu'ils soient maritimes ou fluviaux), les enjeux stratégiques du GNL sont donc importants. Leur positionnement à son égard devient décisif dans la course concurrentielle qu'ils se livrent, dès lors que cette option est appelée à s'intensifier. Certains font le pari de son succès et d'autres en attendent la percée pour lancer les équipements et les services. La transition est bien sûr plus facile à engager pour les ports qui disposent déjà de terminaux spécialisés que ceux qui en sont dépourvus.

Les acteurs portuaires au cœur de la transition

Dans cette dynamique, les ports jouent un rôle important de structuration. A côté des industriels du secteur, les autorités portuaires peuvent accompagner le déploiement du GNL en réservant des espaces d'implantation des nouvelles installations, voire en adoptant des réglementations favorables à sa diffusion : taxes portuaires corrélées à l'émission des polluants, équipement des engins de manutention au GNL etc.

Vu l'importance grandissante du sujet, les études ont foisonné à travers le monde ces dernières années, des lobbies se sont constitués, ainsi que des groupes de détracteurs tant pour des raisons tant environnementales qu'économiques. Les mesures sont souvent mal connues et mal évaluées. Des politiques existent pourtant à l'échelle d'ensembles régionaux, notamment le long d'axes de transport qui doivent être équipés. Dans cette perspective, les pouvoirs publics font montre de plus de volontarisme que les acteurs privés ou les autorités portuaires. Certains indices laissent cependant croire que la percée de ce nouveau carburant est en passe de se réaliser. L'effet de club est bien sûr central à la réussite de sa diffusion.

Quel va être le modèle spatial de diffusion pour le GNL-carburant ?

Reste à voir comment aux différentes échelles, les intérêts et les actions des acteurs sont susceptibles de converger pour accélérer la mutation qui s'est lentement engagée. La coïncidence des calendriers, la concordance des ambitions et des intérêts est une donnée centrale à prendre en considération, dont l'agencement est susceptible de varier selon les ports et les régions considérées. Cette perspective doit alors revenir sur les contextes régionaux de l'accès aux ressources et de la structuration locale du marché du gaz naturel.

Dans cette lecture, se joue aussi la dimension systémique de la diffusion d'une nouvelle technologie. Il s'agit du système que constituent les ports entre eux, mais aussi avec le marché régional. La mise à disposition d'un nouveau carburant ne peut être effectif que si plusieurs ports entreprennent la démarche avec le soutien actif d'armateurs. Il est à ce titre intéressant de voir comment l'innovation plus organisationnelle et économique que technique est susceptible de se diffuser. Selon quels modèles. Les espaces maritimes SECA et les services de *short sea* semblent être la matrice de cette nouvelle offre. Est-elle vraiment susceptible de s'étendre, et si oui, selon quelles logiques et à quelle vitesse ? Les acteurs de du gaz occupent un rôle majeur dans la promotion du GNL et assurent un lobbying l'industrie efficace, notamment dans la diffusion d'études et de données de vulgarisation qui ont parfois tendance à orienter la perception des faits. Si le lancement de chaque navire au GNL est salué comme un triomphe imminent, les conversions traduites en données brutes restent marginales et toujours largement en-deçà des prévisions. Un constat qui n'est pas sans questionner les observateurs.

Objectifs de la recherche

Orientations

L'objet du rapport est de présenter **une synthèse** sur les divers enjeux que l'adoption du GNL comme carburant implique pour les ports (maritimes et fluviaux). Il s'agit d'un phénomène émergent que l'on se propose d'interpréter dans une dimension spatiale, celle de l'articulation des acteurs et des territoires sous la contrainte technique, réglementaire et économique. La question intéresse aussi bien **l'état du marché du GNL, les politiques publiques, les aménagements matériels, les réglementations à adopter dans la gestion que les stratégies des armements et des autorités portuaires**, qu'elles soient portées par les acteurs économiques, les autorités portuaires et enfin les pouvoirs publics (collectivités, Etats, ensembles régionaux) dans le cadre d'une planification territoriale plus large.

Pour assurer la bonne compréhension du contexte, l'analyse rappellera les éléments techniques, économiques et juridiques que suppose le recours au GNL et avec une attention accrue pour le GNL carburant. Il s'agit de les identifier, de les quantifier lorsque cela est possible, en présentant le cas échéant les controverses qu'ils suscitent. Une part significative du travail porte sur l'étude de cas envisagés à l'échelle de grandes régions et des ports qui offrent les dispositifs les plus avancés sur la question. Ces réalisations emblématiques, mettant en regard les discours, les stratégies avec la réalité de terrain.

Périmètre géographique de l'étude

Un tour d'horizon mondial s'impose pour le GNL. Le rapport se propose ainsi de présenter les politiques publiques à différentes échelles pour voir quelle place occupent les ports dans le système. Il s'agit donc de revenir sur les contextes régionaux. Ceux-ci impliquent des équipements nécessaires pour assurer le transport du gaz naturel, sa distribution, la prise en compte des contraintes spécifiques à respecter, tant foncières que réglementaires, bref les éléments nécessaires pour considérer l'implantation de cette activité et de sa pratique dans l'espace portuaire.

L'aire géographique retenue pour l'analyse est donc très extensive. Elle se procède par des analyses et des comparaisons internationales, notamment dans les pays, les régions et les ports qui se sont le plus engagés dans cette voie (Europe du Nord, Amérique du Nord et Asie de l'Est, notamment la Chine et le Japon). Elle s'intéressera prioritairement aux ports maritimes avec le cas échéant un regard sur les ports fluviaux lorsque des projets d'équipement les concernent.

Démarche

[Un point sur l'état de la recherche et des réalisations dans le domaine du GNL carburant marin](#)

Une documentation relativement abondante est disponible sur le GNL comme carburant. Elle est accessible sur internet, mais nécessite un travail attentif de sélection et de croisement de données. Les

sources d'information sont nombreuses : articles de presse spécialisée et études techniques produites par les groupes d'énergéticiens et de motoristes, rapports et projets d'études financés par les pouvoirs politiques. La recherche réalisée ici reviendra dans un premier temps sur les éléments techniques et économiques, indispensables à la compréhension des enjeux. Cette présentation aborde les conditions techniques et économiques d'une motorisation au GNL notamment dans la construction et l'industrie navale (solutions techniques, coûts) ou pour la remotorisation face à des alternatives techniques (scrubber). Dans un second temps, elle se penchera sur le cadre juridique du déploiement de cette technique, pour envisager dans une troisième grande partie le positionnement des acteurs à l'échelle des grands ensembles et des façades portuaires mondiales.

Etude comparative fondée sur des recherches empiriques

Le travail part de la compréhension fine des projets et de leurs porteurs, de l'état d'avancement quant à l'adoption du GNL-carburant dans un certain nombre de ports. S'appuyant sur des monographies régionales, il s'agira de replacer les réalités portuaires dans un contexte plus large, les acteurs eux-mêmes étant insérés dans un système où les règles et les incitations des pouvoirs publics semblent jouer un rôle déterminant. Le travail vise donc tout à la fois à collecter de l'information sur l'état d'avancement et les réflexions et ambitions quant au développement de cette énergie alternative au fioul lourd et à en faire ressortir les variables explicatives ou les spécificités dans l'agencement local.

Le développement du GNL repose largement sur des mesures d'encadrement. Plusieurs types d'acteurs sont ici impliqués : à une échelle supérieure les Etats (voire les groupements régionaux comme l'UE), les instances (inter)nationales de certification, à une échelle locales les autorités portuaires à travers les documents stratégiques et de planification. Ainsi qu'à travers l'accompagnement des projets pour lesquels il s'agit de mettre en regard les déclarations d'intention et les investissements réalisés. Les documents à mobiliser sont donc les textes officiels (projet et planification). Une attention particulière sera portée à la cohérence des échelles et des acteurs.

Modèles de diffusion, dynamiques territoriales et jeu des acteurs portuaires

L'inscription privilégiée de la recherche dans le champ de la géographie et l'aménagement conduit à porter un regard plus attentif à l'analyse par les territoires et l'ancrage spatial des acteurs et leur capacité à s'organiser et à coordonner leurs actions. Elle s'inscrit dans les acquis de la géographie économique, de la géographie des transports et de l'aménagement sans bien sûr sous-estimer la dimension technique et les logiques économiques à l'œuvre. La richesse des études monographiques proposées (à l'échelle de ports, d'Etat ou d'ensemble régionaux) permettra d'engager une réflexion plus théorique sur le modèle de diffusion spatiale pour voir comment d'adoption du GNL-carburant est susceptible de s'étendre. De telles recherches mériteraient des développements théoriques et la construction de modèles empiriques sur des bases quantitatives qui dépasseraient le cadre de la présente étude.

Le travail de recherche a été mené en 2018 et au premier semestre 2019 dans le cadre d'un contrat de recherche financé par le commanditaire, la Fondation SEFACIL et le laboratoire de géographie MRTE (Mobilités, Réseaux, Territoire et Environnement) de l'Université de Cergy Pontoise.

Le travail de recherche et la rédaction du document a été réalisé par Antoine BEYER, enseignant-chercheur et Professeur de géographie des transports à l'Université de Cergy-Pontoise en coopération avec Mariantonia LO PRETE, enseignante chercheuse à l'Université du Littoral (Dunkerque) pour le chapitre consacré à l'évolution du cadre juridique et aux cas méditerranéens.

Le GNL, éléments de cadrage

Un éclairage technique sur le GNL

Le gaz naturel est un mélange gazeux d'hydrocarbures. Il présente une densité inférieure à celle de l'air, puisqu'elle n'est que de 0,6 par rapport à celui-ci. A l'exploitation, les gaz les plus rentables sont les GPL (propane et le butane), plus lourds, ils ont aussi une valeur énergétique supérieure. Ils entrent aussi moins dans la composition naturelle des gisements (Fig. 2). D'autres sous-produits non combustibles sont à forte valeur commerciale comme l'hélium. Ce sont ces gaz et non le méthane qui accroissent la rentabilité de l'exploitation des gisements. Dans cette perspective, le méthane peut apparaître comme un sous-produit que les producteurs sont prêts à vendre avec de plus faibles marges.

Figure 2. La composition du gaz naturel obtenu lors de l'exploitation des gisements et selon la masse volumique.

Composants du gaz naturel :

Méthane (CH_4) : 90 %

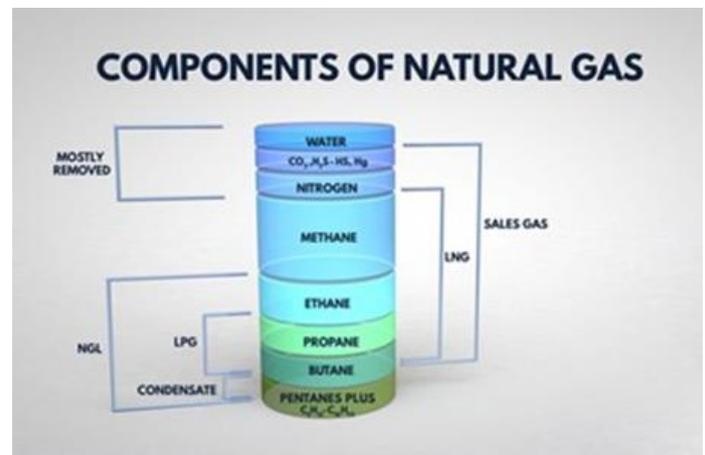
Éthane (C_2H_6) : 5 %

Propane (C_3H_8) : 1 %

Butane (C_4H_{10}) : 0,2 %

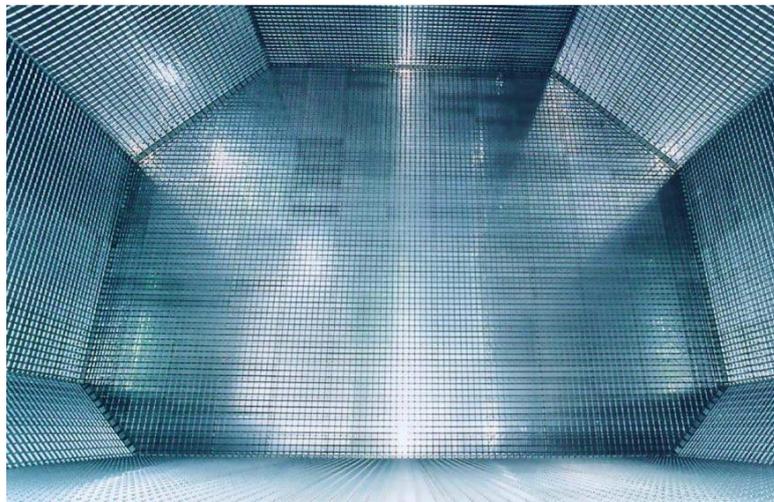
Azote (N_2) : 2,2 %

Dioxyde de carbone (CO_2) : 1,4 %



- Le GNV, c'est du gaz naturel utilisé comme carburant par les véhicules, quel que soit le mode de transport : voitures, autocars, camions, locomotives, bateaux et navires, avions. Il existe sous deux formes : comprimé, (Gaz Naturel Comprimé - GNC) ou liquide, (GNL - Gaz Naturel Liquéfié).
- L'adoption du GNL pour les autres modes est en discussion. Elle est sans doute plus avancée pour le transport fluvial que pour les autres modes terrestres. Le transport routier pourrait être concerné à la fois pour la très longue distance et peut-être pour le transport urbain (fret et bus), mais dans ce dernier cas, le recours aux techniques du gaz comprimé moins contraignant pour l'exploitation s'avère suffisant. Le GNL serait alors avant tout une solution pour stocker ou diversifier les approvisionnements). Les gazoducs ou les ressources de biogaz sont des alternatives adéquates. Dans le cadre du transport ferroviaire, l'option ce n'est que très ponctuellement évoquée pour équiper les gares de triage et chantiers de TC (avec possibilité d'apporter une énergie efficace et moins polluante pour les engins de levage) surtout si ces installations se situent en zones denses. L'électrification du système laisse toutefois peu de place à ce combustible.

Figure 3. Les technologies à membranes sont directement posées sur la coque interne du navire (Photo DNV GL, 2015)



Les matériaux qui entrent en contact avec le GNL doivent être conçus pour des températures aussi basses (températures dites cryogéniques), sinon, elles peuvent entraîner leur fragilisation et les rendre cassants (Fig.3).

Le gaz naturel, une énergie triple A ?

Le gaz naturel est présenté par ses promoteurs comme une *énergie triple A* : **abondante** (les réserves prouvées sont supérieures à 200 ans au niveau de consommation actuel et en constante augmentation), **abordable** (son prix est deux fois moins élevé que celui du gazole et relativement stable), **acceptable** enfin (jusqu'à 25 % moins de dioxyde de carbone (CO₂), , la combustion du gaz

réduit de 96% les particules fines et génère 70% d'oxydes d'azote (NOx) en moins par rapport à un moteur diesel EURO VI.

La première liquéfaction du gaz naturel a été réalisée en 1820 par le physicien anglais, Michael Faraday et sa production industrielle remonte à 1941, aux Etats-Unis, d'où est parti le premier transport maritime à destination du Royaume-Uni en 1959.

Le gaz naturel se présente comme une énergie accessible de par la ressource et du fait de sa bonne maîtrise technique. Le fort développement actuel de ce marché est lié à la demande de sources énergétiques moins polluantes que le charbon et les hydrocarbures et à une disponibilité encore accrue par les techniques de fracturation de la roche mises en œuvre aux Etats-Unis et au Canada. Moins polluant que le charbon ou le pétrole, le gaz naturel n'en n'est pas moins un hydrocarbure issu de gisements fossiles. Aussi est-il couramment considéré comme une « énergie relais » qui conduit au remplacement du charbon pour la production d'électricité en attendant le développement des énergies renouvelables (OCDE, 2014).

Dans les transports aussi, l'usage du GNL est envisagé comme un carburant alternatif intéressant pour les transports, maritimes et terrestres, avec pour objectif de réduire les émissions de polluants locaux et les gaz à effet de serre, pour un rendement énergétique similaire. Son développement suppose en revanche l'adaptation de l'ensemble des acteurs en vue de constituer une filière économiquement et techniquement performante, susceptible de répondre aux exigences du secteur des transports. Si l'expansion du marché mondial du gaz a conduit à d'importants investissements dans les terminaux méthaniers et justifié la croissance d'une flotte de navires assurant son transport sous forme liquéfiée, son usage comme carburant exige la mise en œuvre d'un système de distribution diffus et surtout la conversion des engins à une motorisation adaptée. Bien que la technique de la combustion du gaz naturel est éprouvée pour les moteurs des navires, son adoption reste relativement confidentielle, du fait de l'attentisme réciproque des armateurs, des énergéticiens et des gestionnaires portuaires ; les premiers dans l'assurance d'un avitaillement largement assuré et les seconds à la recherche d'un seuil minimal de volume de vente.

D'autres facteurs ont aussi pu jouer en défaveur d'un déploiement plus rapide du GNL carburant. Le contre-choc pétrolier a suivi la crise de 2008, faisant plonger les prix des hydrocarbures (et tout particulièrement des fuels lourds qui ne trouvent pas d'autres débouchés que les soutes des navires). La baisse des taux de fret et des volumes a durablement déséquilibré le marché du transport maritime, empêchant les armements à songer à de nouveaux investissements. Dans une moindre mesure, on peut aussi pointer le retard relatif dans l'adoption de réglementations et de normes internationales.

Des avancées ont toutefois été enregistrées pour le GNL marin sous certaines conditions très restrictives : un marché du transport régulier de courtes distances, des exigences environnementales accrues par rapport au cadre international avec des applications plus sévères dans espace maritime restreint, le soutien actif de la puissance publique dans les grands Etats industriels pour appuyer un changement de technologie. Ces conditions sont réunies tout particulièrement dans la Baltique qui reste le premier pôle de référence pour le GNL.

Plusieurs éléments semblent aujourd'hui changer la donne et laissent aujourd'hui envisager l'accélération de l'adoption du carburant alternatif, notamment via le renforcement des normes d'émission de particules dans les ports et des zones de protection environnementales qui sont appelées à s'étendre. Reste ensuite à garantir les conditions d'avitaillement aux meilleures conditions

tarifaires. L'avantage semble ici acquis aux ports qui disposent de terminaux méthaniers ; les plus importants étant en mesure d'offrir les offres tarifaires plus attractives du fait de la proximité de la source d'approvisionnement et des possibles économies d'échelle.

Bien qu'hydrocarbure, le gaz naturel (gaz naturel et biogaz) est considéré comme une énergie alternative (*alter-fuel*) dans le cadre de l'Union Européenne et, à ce titre, bénéficie d'une politique volontaire de soutien visés par les Directive « *Alternative fuels for sustainable mobility in Europe* » et la « *Directive on the deployment of alternative fuels infrastructure* » (EU – 2016). Le GNL est donc partie intégrante de la politique de soutien aux carburants alternatifs qui favorise le déploiement d'une couverture territoriale à l'échelle de l'Union européenne avec les dispositifs suivants :

- Cofinancement d'équipement minimum à définir par les Etat-membres dans le cadre de plan d'action nationaux ;
- Définition de standards européens pour les stations de rechargement et d'approvisionnement ;
- Information sur l'offre et engagement coordonné de long terme des Etats-membres (directive conjointe du parlement et du Conseil européen du 29 septembre 2014).

Comme énergie transitoire, le recours au GNL carburant pose plusieurs questions qui seront abordées au cours de cette première partie.

- Le GNL est-il (et à quelle condition alors) environnementalement et économiquement pertinent ?
- A-t-il des chances d'être adopté dans les transports ? Si oui, pour quels modes ?
- Les moteurs au GNL offrent-ils une solution technologique sûre ?
- Quelles sont les installations requises pour son exploitation dans un contexte portuaire ?
- Comment positionner les différents pays et les différents acteurs dans cette option GNL et quels leviers systémiques mettre en œuvre pour en favoriser l'avènement ?

La première partie de cette étude aborde successivement ces différents points selon les questions environnementales, techniques économiques et réglementaires. Pour chacune de ces entrées, les questions maritimes et portuaires seront replacées dans un contexte plus large afin de bien les positionner par rapport aux enjeux globaux avec lesquels, les acteurs du secteur sont amenés à composer.

Sur le fonds, le recours au GNL reste encore très discuté par les experts sur plusieurs points :

- **Sur le plan économique**, le coût bas des produits pétroliers et la nécessité de rééquiper la flotte mondiale de moteurs adaptés ne milite pas pour un changement technologique. L'usage massif du GNL comme carburant dérive de l'opportunité offerte par son usage thermique et pour la production d'électricité qui a conduit à l'accroissement récent des échanges internationaux.
- **Sur le plan environnemental**, les avantages du GNL reposent sur une faible émission de particules, contrebalancée par le fait qu'il s'agisse d'un hydrocarbure fossile qui ne satisfasse pas les exigences des objectifs climat. Ses détracteurs soulignent que l'adoption massive d'une propulsion au GNL, bien que plus propre, risque de retarder d'autant la rupture technologique attendue avec l'hydrogène et l'électrification. Les prix plus bas et l'investissement nécessaire

que suppose le GNL seront causes d'un détournement partiel d'autres solutions plus prometteuses.

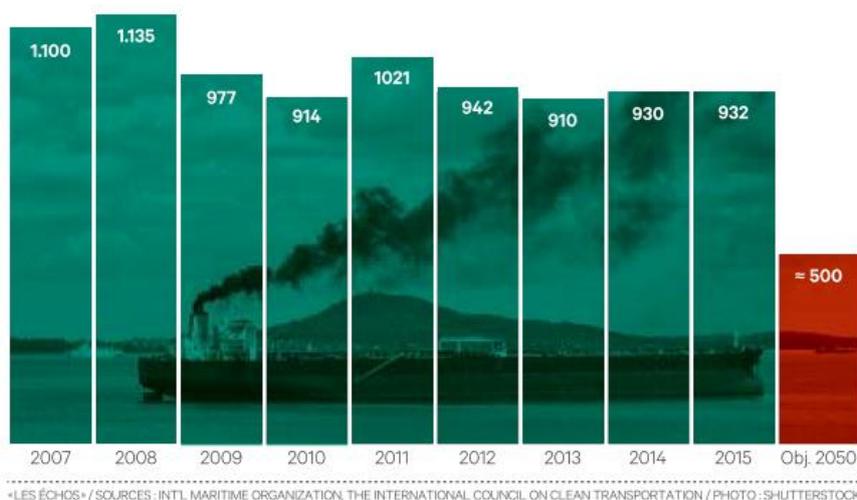
- **Sur le plan géoéconomique** : le marché du gaz naturel offre plus de stabilité que celui du pétrole (même si une interrelation des prix du gaz et du pétrole existent). Les réserves avérées de gaz naturel semblent aussi plus importantes et mieux distribuées, ce qui limite la volatilité des cours. La volonté de recourir à des énergies plus propres tout en diversifiant les approvisionnements, ont conduit divers pays européens à développer des terminaux méthaniers : Belgique, France, Pays-Bas, Danemark, Suède, Pologne, Lettonie et Allemagne. Toutefois, le risque de dépendance de ressources extérieures notamment russes pour l'Europe ou qatari pour le Japon reste important. Dernier élément en date est depuis une décennie la mise en œuvre d'une exploitation non-conventionnelle des ressources qui ont pour effet de doper la production et d'avoir un effet de dépréciation des prix. Devenus des producteurs de référence, les Etats-Unis se sont lancés dans la construction d'unité de liquéfaction des gaz de schiste.

Une réponse partielle au défi environnemental

Bien que ne représentant que 2,2 % des émissions mondiales des gaz à effet de serre (GES), le transport maritime ne cesse d'accroître sa part dans les émissions globales de GES, d'autant plus que les carburants à forte composantes soufrées (fiouls lourds) ont un fort impact environnemental.

La note de synthèse du Forum International du Transport "*Shipping and climate change : where are we and which way forward ?*", réalisée dans la perspective de la COP21 à Paris estime ainsi que le transport maritime est à l'origine de plus de 900.000 millions de tonnes de CO₂ rejetées dans l'atmosphère dont plus de 60 % proviennent de trois catégories de navires : les porte-conteneurs, les vraquiers et les pétroliers. En fonction de la croissance attendue des échanges internationaux, la part du secteur maritime pourrait augmenter selon un facteur de 2,5 d'ici 2050 (Fig.4) et, sans amélioration des techniques employées, représenter alors 14 % des émissions mondiales, soit une multiplication par six par rapport à la situation actuelle ! Comme l'aviation, le transport maritime n'est pas intégré aux accords de Rio, et les émissions de ces deux modes à forte composante internationale ne sont donc pas comptabilisées dans des cadres nationaux sur lesquels reposent les engagements intergouvernementaux.

Figure 4. Les émissions de gaz à effet de serre par l'industrie du transport maritime (en Mt de CO₂) – Les Echos 18/6/2019



Le caractère international de l'activité maritime, notamment en haute mer a privilégié un modèle de libre concurrence qui échappe largement aux réglementations contraignantes que doivent suivre les transports terrestres. Une large partie des trafics, se situant en haute mer échappent d'ailleurs à la juridiction et au contrôle des Etats souverains. Les contrôles peuvent s'appliquer dans les eaux côtières et dans l'accès aux ports.

Depuis près d'un siècle, les technologies concernant la propulsion marine ont, de fait, peu changé. Des améliorations techniques sont intervenues mais ne remettent pas fondamentalement en question le modèle technologique sous-jacent. Il est lié à la combustion des pieds de colonne de raffinage qui ne trouvent pas d'autres débouchés. Avoir recours au fuel lourd pour faire avancer les navires, c'est aussi rendre service à l'industrie pétrolière qui ne saurait quoi faire de ces encombrants sous-produits. Aussi, la croissance du recours aux dérivés des hydrocarbures a fourni une énergie abondante et bon marché à un transport maritime en expansion rapide, tiré par la mondialisation des échanges.

La question de l'efficacité énergétique des navires suit traditionnellement deux voies : les **économies d'échelle** par le gigantisme des navires permettant la réduction des coûts unitaires à la tonne transportée, jusqu'à un certain seuil, tant pour les vrac que pour les porte-conteneurs ; le **slow steaming**, c'est-à-dire la réduction de la vitesse de déplacement des navires, solution massivement introduite après de la crise de 2008 alors que la flotte mondiale était en surcapacité ; en effet la décélération des flux permettait l'emploi de plus d'unités pour un volume plus faible à transporter.

Cette mesure paraît particulièrement efficace comme le souligne Gildas Maire (Louis Dreyfus) dans un article des *Echos* du 12/04/2018 : pour un bateau de 200 000 t passer de 14 à 11 nœuds (-21%) permet de ramener la consommation quotidienne de 65 à 40 tonnes de fioul lourd (-38%). La mesure a pu être prolongée ensuite. L'intérêt de réduction des coûts reste néanmoins la motivation principale de ce choix, même si certains experts et politiques envisagent de définir une vitesse maximale autorisée pour pousser, à travers un texte juridique, à optimiser la consommation d'énergie.

La question de la pollution se pose avec plus d'acuité pour les polluants locaux (suies et particules), notamment dans les ports où les navires sont amenés à exécuter des manœuvres, ou à faire tourner leurs moteurs au ralenti pour alimenter les générateurs électriques de bord alors que les navires sont à quai. En sous-régime, les moteurs assurent une bien moins bonne combustion et accroissent les

rejets de polluants dans l'atmosphère que les vents du large viennent rabattre vers les zones habitées des métropoles portuaires. Des mesures plus précises de la pollution dans les quartiers proches sont alarmants et conduisent les autorités portuaires à prendre des dispositions plus contraignantes.

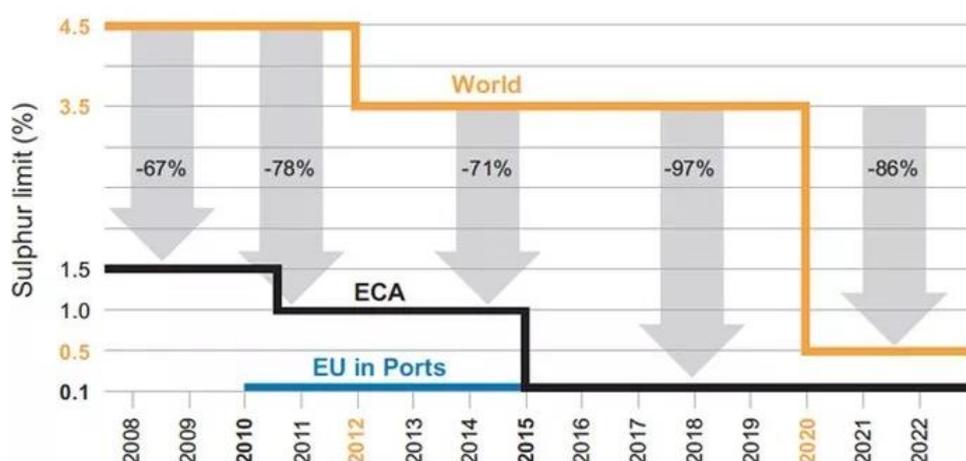
Les solutions envisagées pour réduire l'empreinte environnementale du carburant marin

De manière générale, la dépendance au système des hydrocarbures est très prégnante dans l'énergie de propulsion des navires. L'International Transport Forum (ITF) a publié un rapport sur les mesures à prendre pour décarboner totalement le transport maritime d'ici 2035. Selon ses auteurs, une décarbonation significative à cette échéance serait possible, à condition de déployer au maximum le potentiel des technologies connues aujourd'hui : les carburants alternatifs, les mesures technologiques et les améliorations opérationnelles. Mais dans les faits, la décarbonation totale à l'horizon 2035 semble impossible à atteindre. Pour les spécialistes, une réduction de 50% des émissions paraît en revanche plus réaliste. Elle passe par différentes mesures à court et plus long terme, assurant une transition progressive mais résolue des navires.

Plusieurs solutions sont envisagées, dans la transformation de la flotte mondiale, avec une nécessaire adaptation des navires déjà en service et qui ont une durée de vie de plusieurs décennies. La pression exercée sur les armements actuels est alors un signal indispensable à l'introduction de nouvelles unités à mettre en service, plus efficaces mais aussi plus coûteuses. La question de la rentabilité économique des investissements au regard des contraintes réglementaires est bien sûr un point crucial. Dans cette transformation, diverses techniques peuvent être convoqués, de manière concurrente mais en complémentarité, variable selon le type de navire, son âge, la nature de la cargaison ou les distances parcourues. La maturité des technologies à disposition et l'existence des équipements nécessaires peut orienter vers l'une ou l'autre des solutions.

A court terme, il s'agit d'adapter les navires existants aux exigences requises de diminution des émissions de GES. Cet objectif peut être encadré à l'échelle mondiale à travers les règlements de l'OMI (*Organisation maritime Internationale*) dans les normes admises d'émission. Adoptée en 1997, l'Annexe VI de MARPOL introduit des limites d'émission pour les principaux polluants atmosphériques provenant des gaz d'échappement des navires. La part d'oxyde de soufre dans le diesel marin est ainsi passée de 4,5% à 3,5% en 2012, avant de tomber en 0,50% en 2020 (contre moins de 0,01 % pour les voitures) (Fig.5).

Figure 5. Les limites des émissions d'oxydes autorisés selon l'OMI (Annexe 6 Marpol)



Certains acteurs ont imposé des normes plus strictes dans ports, les eaux territoriales de plusieurs Etats ou via des accords régionaux (zones ECA *Emission Control Area* et SECA *Sulphur Emission Control Area*). Cette adaptation étant déterminée par un différentiel spatial (Fig.6), elle va également conduire à des trajectoires géographiques différenciées dans la lutte contre la pollution maritime, conduisant à des repositionnements de navires selon leurs performances environnementales, comme cela avait été précédemment le cas pour la diffusion des navires pétroliers à double coque.

Figure 6. Les zones actuelles et pressenties d'émission contrôlée (ECA)



Source: teamtec presentation, Macquarie Research, February 2018

Dans le cadre européen, la réglementation relative aux engins mobiles non routiers, dite Directive NRMM en anglais (UE - 2016/1628 du 14 septembre 2016), pour des moteurs mis en service après 2019, s'applique aux moteurs mis sur le marché et installés pour une construction neuve ou une remotorisation volontaire d'un bateau existant : il n'y a en revanche pas d'obligations réglementaires de mise à niveau de la motorisation des bateaux existants (source DGITM, oct.2016).

Le choix du bannissement total de l'utilisation de fuels lourds a été retenu pour les régions polaires, ce qui peut avoir un impact avec la perspective de la route polaire entre l'Europe et l'Asie de l'Est - NSR (*Northern Sea Route*).

Parmi les grandes options retenues pour atteindre les limites fixées par les règlements, des familles d'améliorations de la motorisation des navires sont communément admises pour corriger la combustion du fuel lourd classique (HFO) à haute teneur en soufre (de 1,5 à 3,5%).

- **Usage d'hydrocarbures plus propres** : sans modification de la motorisation, un raffinage plus poussé du pétrole permet d'obtenir des produits moins polluants par voie de désulfuration lors du raffinage. Il s'agit de carburants distillés (toujours issus du pétrole) type gazole marin ou autres carburants à basse teneur en soufre (HFO désulfuré ou ULSHFO - *Ultra Low Sulfure Heavy Fuel Oil*). Ces carburants sont bien sûr plus coûteux que le fioul lourd.
Pour répondre aux exigences des limites géographiques des ECA, les navires peuvent procéder à une substitution locale de carburant en basculant sur un système de cuves différenciées : cette solution retenue pour les zones préservées (proximité du littoral et dans les ports) et l'usage du diesel marin. Cette permutation peut se limiter au seul générateur d'électricité à bord, mais aussi exiger l'installation distincte du système de motorisation principal et une cuve dédiée à un type de carburant plus propre. La génération électrique dans le port a aussi suscité une autre solution qui est l'approvisionnement électrique par raccordement au réseau terrestre. Le développement de courants de quai pour alimenter les navires à l'arrêt dans les ports exige des investissements conséquents surtout par l'adaptation de la puissance requise par les gros navires et l'ajustement de l'ensemble du réseau à cette nouvelle donne. Les ports de Los Angeles et Long Beach ont été précurseurs dans cette option. Une génération plus locale alimentée par un générateur électrique produit par un moteur GNL peut être une solution prometteuse.
- **Lavage des fumées (Scrubber)** : cette technique consiste à filtrer les fumées de combustion pour limiter le rejet dans l'atmosphère des particules et réduire significativement l'émission de d'oxydes de soufre. Le processus nécessite des installations complexes, une maintenance dédiée, le recours à des consommables, la collecte et le retraitement des boues et bien sûr, une consommation électrique accrue pour faire tourner les diverses pompes. Son gros avantage est que cette technique est adaptable sur les systèmes de motorisation classique. Pratiquée souvent en *open loop*, l'opération consiste à rejeter dans les océans les résidus qui ne sont pas envoyés dans l'atmosphère ! Aujourd'hui, l'option de stockage et de traitement des boues est mise en avant.
- **SCR (selective catalytic reduction)**, la Réduction catalytique sélective. La réaction d'oxydoréduction mise en œuvre transforme les NOx en diazote N₂ et en eau (et en dioxyde de carbone CO₂ dans le cas de l'utilisation de l'urée) et s'opère via un catalyseur. Cette technique employée de longue date pour les installations industrielles fixes a été employée pour les navires. Si elle limite l'émission NOx, elle accroît celle de CO₂.
- **RGE (recirculation des gaz d'échappement ou Exhaust Gas Recirculation)** : « le principe de cette solution revient à rediriger une partie des gaz d'échappement des moteurs à combustion

dans le collecteur d'admission, pour réduire sélectivement les émissions d'oxydes d'azote (NOx) et de particules afin de satisfaire aux normes antipollution sans avoir à modifier la structure du moteur » (Source Wikipédia). Elle permet de corriger l'oxydation accrue de l'azote de l'air par le contrôle de la température de combustion, mais accroît la production de particules en raison de la raréfaction de l'oxygène et réduit la puissance théorique du moteur.

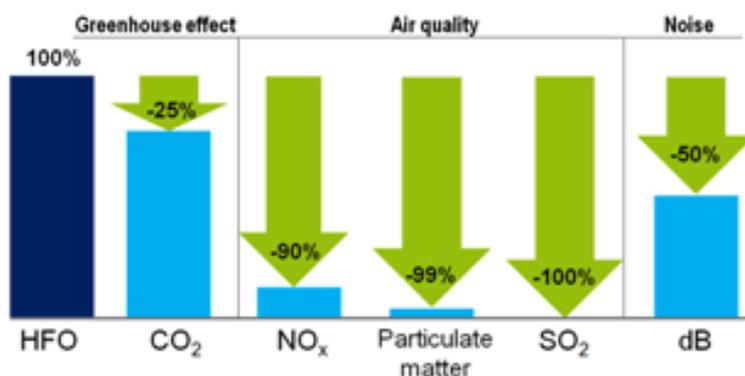
- **Le GNL** : le recours au gaz naturel comme carburant maritime présente des avantages. Il améliore la situation des émissions de particules qu'elle supprime presque complètement mais ne répond que partiellement à la réduction des émissions de CO2 en assurant une réduction de 20% à performance équivalente. Bien qu'assez abondant, l'approvisionnement de cette énergie fossile n'en fait pas pour autant une ressource durable. La méthanisation des déchets ou l'obtention de biométhane (méthane vert) est aujourd'hui anecdotique par rapport à sa consommation. Enfin, la capacité de réchauffement d'une molécule de méthane dans l'atmosphère est 27 fois celle du CO2. Cette donnée pose la question de l'efficacité globale du GNL alors que la production et la manutention du produit multiplie les risques de perte dans l'atmosphère par fuite, inévitable bien que minime lors de toute opération de transport ou par accident. A bord, ce risque est moins élevé du fait d'un circuit gaz dans le compartiment machine très court et constitué de tuyauterie à double enveloppe (*pipe in pipe*). « Cependant lors de la combustion du gaz naturel dans les moteurs conçus à cet effet qu'ils soient des moteurs dit « *pure gas* » ou des moteurs dits « *dual fuel* », une quantité très minime de gaz naturel s'échappent des cylindres sans avoir brûlé. Selon les technologies de moteurs, le régime ou les conditions d'exploitation, ces imbrulés représentent entre 0,1 et 2% du gaz injecté dans le moteur. » (Arthur Barret, in *Jeune marine*, n°244). Le bilan environnemental global peut ainsi être questionné.

Le GNL est moins polluant que les fuels lourds et le diesel, tout en restant un hydrocarbure donc peu compatible avec les objectifs de très forte réduction des GES à terme, d'autant que le méthane a un très haut pouvoir chauffant (rapport de 1 à 20 par rapport au CO2). Tout rejet volontaire ou accidentel est donc très nocif et présente une limite à ce choix énergétique. Pour réduire l'usage les carburants marins classiques Fioul Lourd ou Heavy Fuel Oil (HFO), des alternatives conventionnelles existent avec les *low- sulphur Marine Gasoil* (MGO). Des équipements de filtrage des rejets permettent de réduire les rejets polluants, de type scrubbers (Alvestad, 2011).

D'un point de vue technique, le GNL permet, par rapport aux navires motorisés au fuel lourd (Fig.7) :

- jusqu'à 25 % de réduction de CO2 ;
- la réduction de 99 % des émissions de soufre ;
- la réduction de 99 % des émissions de particules fines ;
- la réduction de 85 % des émissions d'oxydes d'azote.

Figure 7. Réduction des émissions du GLV rapport au Fuel lourd (HFO – Heavy Fuel Oil). Source Fluxys



<http://www.fluxys.com/belgium/en/About%20natural%20gas/fuelfortransport/GNLships/GNLships>

Dans les méthaniers, le gaz naturel liquéfié s'évapore naturellement malgré l'isolation des cuves (il existe d'ailleurs sur les méthaniers des mâts de décharge obturables afin d'évacuer ce gaz à l'atmosphère en toute sécurité, mais avec des conséquences lourdes sur le plan environnemental). Dans la mesure du possible, ces pertes sont récupérées afin d'alimenter les chaudières en remplacement du carburant (propulsion au GNL depuis les années 1980) ou en complément d'autres combustibles.

Le GNL suppose une adaptation de la motorisation qui ne peut être amortie que sur le moyen terme. Du point de vue d'approvisionnement, si des installations spécifiques sont nécessaires pour assurer l'avitaillement des navires à propulsion GNL, elles peuvent venir en complément des terminaux GNL d'import qui connaissent un succès grandissant à travers le monde et notamment dans les pays développés comme substitution à la combustion de charbon ou d'hydrocarbures issus du pétrole.

Les experts considèrent le GNL comme une énergie de transition vers des solutions plus durables. La question se pose dès lors d'un investissement systémique qui risque d'engager le secteur sur des investissements importants et ainsi le détourner des énergies technologiquement moins matures mais plus prometteuses en termes environnementaux.

- **GPL carburant** : le gaz de pétrole liquéfié désigne deux gaz à l'état liquide : le propane et le butane. Ces gaz présentent l'intérêt de se liquéfier sous une pression moindre que les autres gaz (notamment le méthane) : entre 1,5 et 7 bars, soit une pression équivalente à celle de l'eau du robinet. Faciles à stocker et à transporter, les GPL sont notamment utilisés par les particuliers dans des activités itinérantes. Leur valeur économique du fait de leur usage domestique dans des zones non desservies par d'autres énergies semble de fait l'exclure toute valorisation pour le transport maritime.
- **Bateau électrique ou propulsion à hydrogène** : en fonction de la puissance requise seule la technologie de la pile à combustible (hydrogène) est envisageable pour le transport maritime. Cette technique prometteuse est encore à l'état de prototype pour sa motorisation, mais pose la question de l'approvisionnement en hydrogène. Ce gaz obtenu aujourd'hui à l'échelle

industrielle par la fracturation des molécules de méthane et reste de ce fait peu efficace sur le plan énergétique et se heurte à un coût de transport très élevé. Parmi les challengers de cette technique on peut mentionner l'armateur norvégien de *Viking Cruises* et le japonais *Kawasaki Heavy Industry* qui a annoncé à l'horizon 2030 un bateau de grande taille utilisant une pile à combustible.

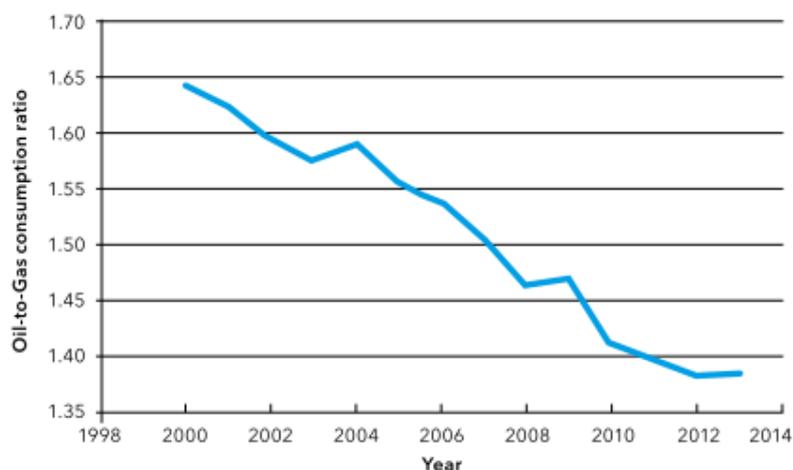
L'approche économique du GNL marin

Une des difficultés provient du fait que le recours au GNL requiert une installation spécifique avec la mise en place d'infrastructures dédiée pour la distribution. Une adaptation des moteurs existants n'est pas possible. L'usage du GNV suppose en principe un complet rééquipement du matériel. Toutefois, des modèles hybrides plus récents, combinant la combustion de méthane et de diesel ont fait leur apparition sur le marché (*Gas-diesel engines* ou *dual-fuel combustion*). Si le gaz naturel est moins coûteux à l'usage que d'autres sources énergétiques, les infrastructures nécessaires pour leur approvisionnement et leurs coûts d'entretien restent élevés. Par rapport à l'électricité, il a l'avantage d'être stockable. L'enjeu de l'innovation est moindre pour le transport d'une énergie qui est globalement maîtrisée et qui connaît une croissance constante que son usage pour les transports en tant que carburant pouvant s'appuyer sur des terminaux de plus petite taille (*medium* et *small scale* GNL).

Les éléments de l'efficacité d'une motorisation GNL

Le gaz naturel est sans odeur, non toxique et, ce qui est important pour l'entretien des navires, il est non corrosif, assurant un cycle de vie plus long pour les éléments du moteur. A cela s'ajoute à une combustion qui engendre moins de vibrations, avec un effet direct sur la réduction de la pollution sonore, aérienne et sous-marine que l'on a tendance à négliger mais qui n'est pas sans avoir un impact négatif sur la faune océanique. La baisse des vibrations assure une moindre usure des pièces mécaniques. En revanche, le pouvoir énergétique du gaz naturel est plus faible qu'une quantité équivalente de fuel marin (de l'ordre de 30 %) et assure donc moins de puissance et de reprise pour les moteurs qui en sont dotés, même si des progrès constants ont été enregistrés (Fig.8). Le stockage du GNL combustible occupe de ce fait une place plus importante dans le navire pour une autonomie donnée, entraînant une perte commerciale par réduction du volume d'emport.

Figure 8.. Evolution du rapport de l'efficacité énergétique gaz naturel – produits pétroliers (tous secteurs industriels confondus) (Source DNV GL, 2015).

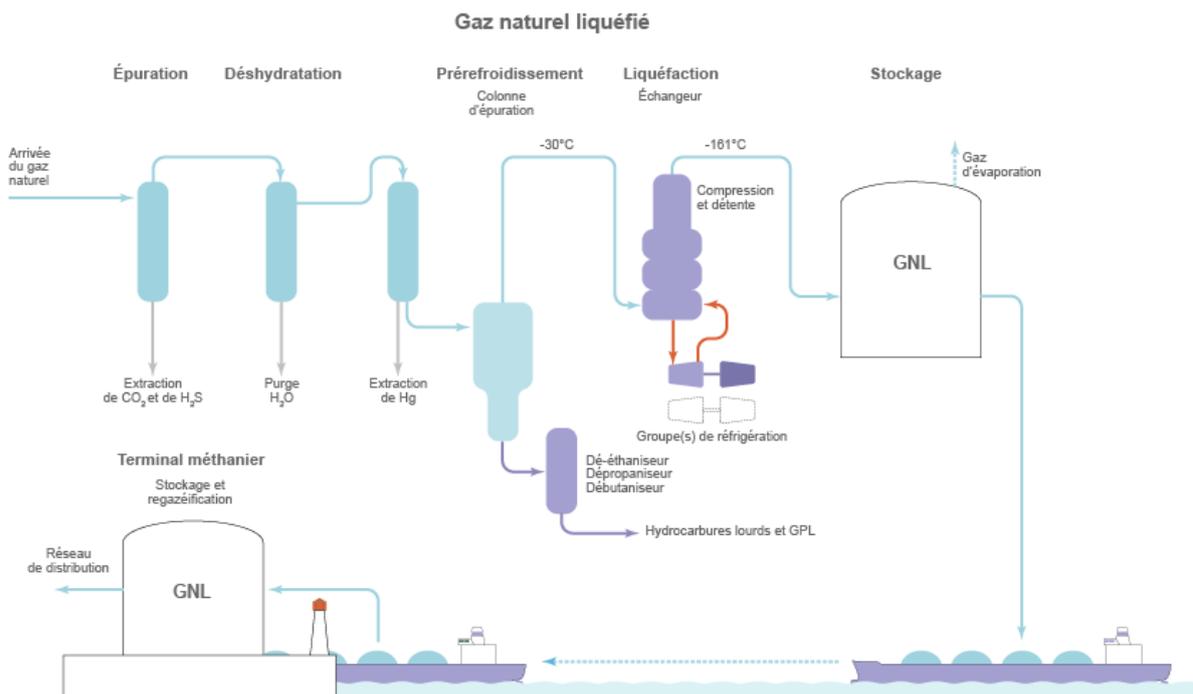


Les données disponibles en Europe du Nord pour un tanker de taille moyenne font état d'un soutage qui intervient en moyenne deux fois par mois, pour une durée d'une vingtaine d'heures s'il s'opère par camions citernes et la moitié de ce temps en avitaillement par bateau.

Le prix du gaz

Alors que le coût du transport du pétrole ne représente qu'une faible proportion du prix de la matière naturelle, le coût de transport et de distribution du gaz naturel reste élevé eu égard à son coût d'achat. Cela tient autant à la densité du produit : une même canalisation transportera cinq à dix fois plus d'énergie sous forme liquide (pétrole) que sous forme gazeuse et repose sur une importante l'autoconsommation des stations de recompression situées le long des gazoducs qui peut atteindre 20% pour un transport maximal de 5 000 km. De même, les opérations à subir en cas de liquéfaction, opération consomment de l'ordre de 12% de la valeur énergétique du produit (Favennec, 2009). Au-delà d'une distance limite, le transport s'effectue exclusivement par liquéfaction du gaz naturel (Fig.9). L'essor de la distribution du GNL par voie maritime se justifie tant par la réduction du coût du transport que par une plus grande souplesse dans l'approvisionnement des marchés. Le stockage peut se faire à pression atmosphérique dans de grands réservoirs. Lors de sa regazéification, la température est portée d'environ -160°C à plus de 0°C sous haute pression (entre 60 et 100 bars). A -160°C, sa masse volumique est alors de 1,7 kg/m³ et à 20°C est d'environ 0,72 kg/m³ (Ineris 2011). Le GNL peut être réchauffé par des échangeurs à ruissellement d'eau de mer ou par combustion d'une partie du gaz. Lors de la regazéification cette énergie négative peut être récupérée sous forme de frigories mais impose un usage de proximité.

Figure 9. Les étapes de la liquéfaction du gaz naturel (Source : www.connaissancedesenergies.org)



Le gaz naturel est d'abord acheminé par gazoduc, du gisement où il a été extrait jusqu'à une usine de liquéfaction disposant d'une façade maritime et d'installations portuaires. Dans l'unité de liquéfaction, le gaz naturel subit plusieurs traitements successifs :

- 1) **épuration** : elle consiste à extraire le dioxyde de carbone (CO₂) du gaz naturel car il peut endommager les unités de liquéfaction en s'y solidifiant, ainsi que le sulfure d'hydrogène (H₂S) et d'autres composés soufrés ;
- 2) **déshydratation** : on élimine l'eau (H₂O) du gaz pour éviter la formation d'hydrates de méthane qui peuvent bloquer les échangeurs cryogéniques. Une fois « sec », le gaz naturel est quasiment du méthane pur. On le débarrasse également de toute trace de mercure (Hg), élément toxique qui peut corroder les alliages utilisés dans la suite du processus ;
- 3) **prérefroidissement** : le gaz naturel est refroidi à une température proche de -30°C. Une série de distillations (dans les colonnes d'épuration) permet d'isoler les hydrocarbures plus lourds ainsi que les GPL (gaz de pétrole liquéfié : propane et butane). Ceux-ci peuvent être vendus comme matière première dans la pétrochimie ou comme carburant ;
- 4) **liquéfaction** : le gaz est comprimé, refroidi à pression constante puis détendu. Cette opération est renouvelée à deux ou trois reprises dans des colonnes frigorifiques (pompes à chaleur) dont le gaz sort à près de -160°C, entièrement liquide à pression atmosphérique.

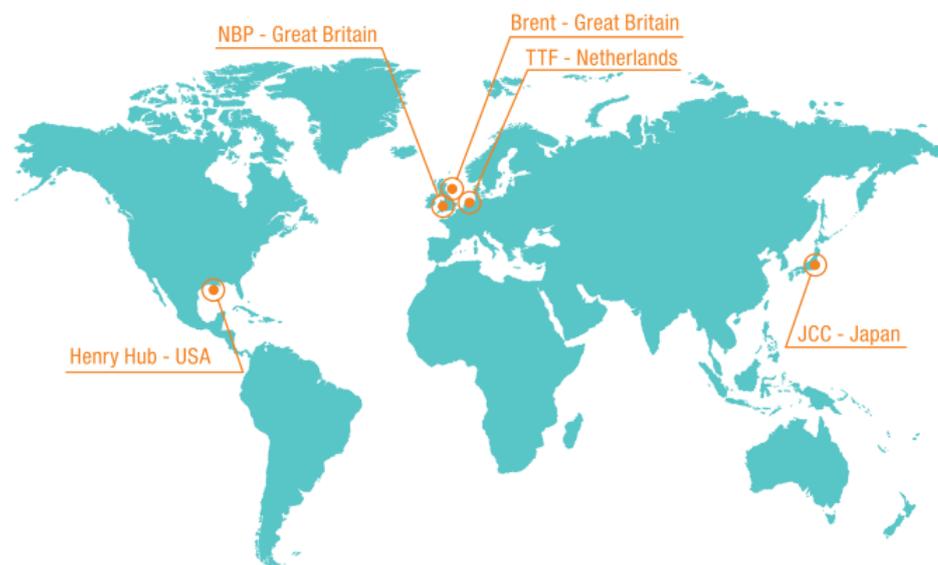
Le ratio d'expansion entre le volume liquide (GNL) et le volume gazeux de gaz naturel dépend des caractéristiques de chaque GNL produit. Le coefficient de conversion entre m³ de GNL et m³ de gaz naturel en découlant variait par exemple entre 558 (GNL du Libye) et 586 (GNL d'Alaska) en 2016 selon les statistiques du IGLNGI (*International Group of Liquefied Natural Gas Importers*).

Les coûts associés au transport du GNL se décomposent de la manière suivante :

- Les opérations de liquéfaction : 60% des coûts ;
- Le transport par navire méthanier : 20% des coûts ;
- La regazéification dans le terminal méthanier : 20% des coûts.

Les prix du GNL sont fixés sur quelques grands marchés mondiaux, qui accueillent les principaux lieux d'échange et de cotation de cette matière première. Ils se répartissent selon trois grands pôles qui sont aussi des nœuds majeurs du système. Ils s'articulent selon des logiques régionales, même si les marchés sont aujourd'hui mondialisés : le golfe du Mexique (Henry Hub), les marchés de la mer du Nord (Royaume-Uni et Pays-Bas), le Japon (Fig.10)

Figure 10. Les marchés de cotation du gaz naturel



Selon les équilibres locaux entre l'offre et la demande, les cotations peuvent enregistrer des variations significatives. La plus importante intervient entre le Golfe du Mexique alimenté par l'excédents du gaz de schiste américain et le reste du monde, notamment les marchés asiatiques où la croissance de demande particulièrement forte tire les prix vers le haut (Fig.11).

Figure 11. Estimation en octobre 2018 de la valeur unitaire du GNL sur les principaux marchés mondiaux (en \$ par Md Btu)

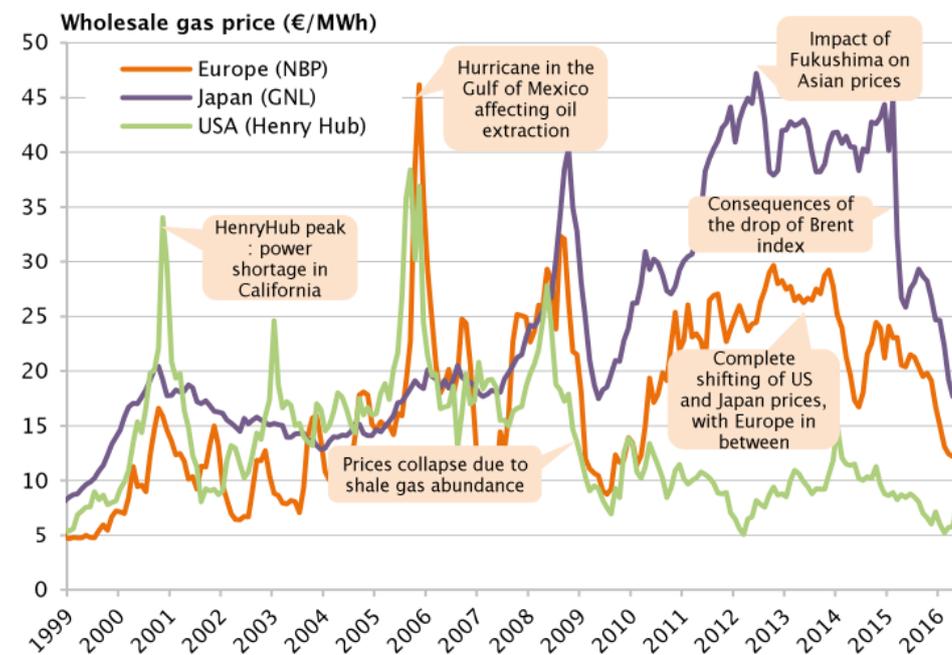


Source: Courtesy of IHS Markit. Copyright 2018. All rights reserved. The use of this content was authorized in advance. Any further use or redistribution of this content is strictly prohibited without prior written permission by IHS Markit.

Notes: Prices are the monthly average of the weekly landed prices which includes commodity cost, shipping costs, insurance, duties, and other charges incurred for shipment. The Sabine Pass terminal is located near the Lake Charles terminal shown on the map.

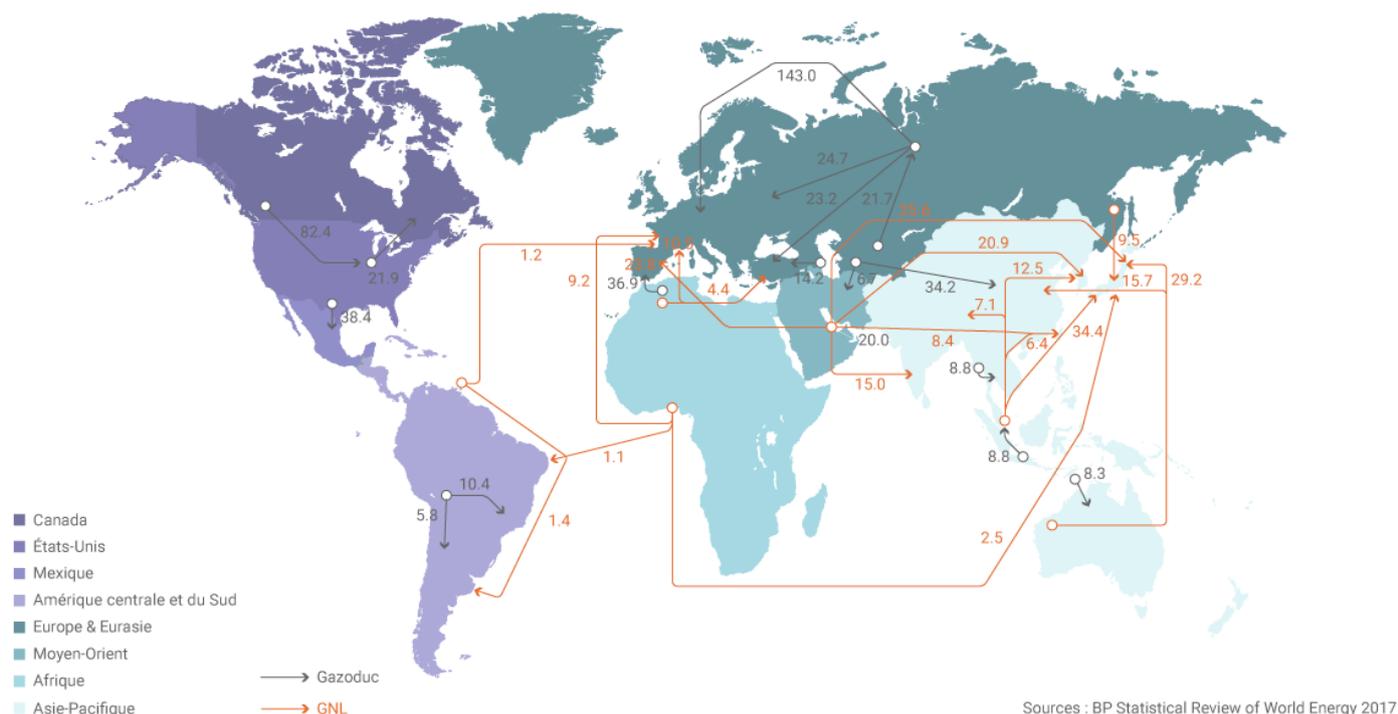
En Europe, les prix du gaz sont pour partie liés aux variations de ceux du pétrole, car même les contrats à long terme corrélient, au moins en partie, les indices des deux énergies (Fig.12). Le différentiel des ressources, des coûts et des techniques d'acheminements structure alors les échanges globaux (Fig.13).

Figure 12. Evolution du prix du gaz naturel sur les principaux marchés de gros des zones de consommation (en €/MWh)



Source : World Data Bank (2016)

Figure 13. Les principaux flux de gaz naturel dans le monde en 2016 (Source : Connaissance des Énergies, d'après données du BP Statistical Review)



Les stratégies possibles des armateurs

Le coût de l'équipement

Pour ses porte-conteneurs, la CMA-CGM estime le surcoût des navires propulsés au GNL à 15 % (Antenne du 8/12/2107). L'importance des investissements initiaux suppose en outre un amorçage en termes d'infrastructures que seuls peuvent opérer les industriels du secteur avec le soutien des autorités portuaires et de la puissance publique.

Même si le recours au diesel marin reste très élevé, une étude menée par MAN Diesel et Turbo recommande le GNL pour un navire qui navigue au moins 65% du temps en zone SECA et dans la mesure où le gaz naturel n'est pas plus onéreux que le fioul lourd (www.fluxys.com).

La décision d'un armateur d'investir dans un navire est lourde de conséquences et correspond à un engagement long. L'incertitude qui caractérise aujourd'hui le choix du carburant conduit donc les armateurs à une certaine prudence. Aussi, le choix du GNL peut être modulable et relever de différentes stratégies (Schnack Petra, Krüger, 2015) :

- la mise en chantier d'un **navire conçu et motorisé au GNL** avec un investissement de départ plus important de l'ordre de 30% (données DNL GL, 2015) ;
- la construction d'un navire équipé d'une motorisation initiale au fuel mais conçu comme compatible avec une remotorisation GNL ultérieure (on parle alors de **GNL-ready ships**), lorsque les conditions seront réunies pour un changement technique : la conversion au GNL un porte-conteneur de 15 000 EVP *GNL ready* de l'UASC a coûté 30 M\$. La transformation a pris 105 jours dans un chantier naval chinois (Source : www.marinelog.com, mai 2019) ;

- le **retrofitting**, remotorisation d'un navire traditionnel avec la technique GNL. Outre le coût important de cette opération, la compatibilité techniques de l'unité transformée doit être examinée en détail et n'est pas toujours réalisable ;
- enfin, le choix de la **motorisation hybride** repose sur la combinaison des carburants (fuel/GNL ou électricité/GNL). " Les moteurs dual fuel, capables de fonctionner au gaz (GNL), au MGO ou au HFO, sont apparus au début des années 2000 et équipent depuis de nombreux navires méthaniers. Ils peuvent basculer en cours de navigation d'un carburant à l'autre, et sont conçus pour fournir la même puissance quel que soit le carburant utilisé " (AFG, 2016).

Dans leurs choix et pour suivre ces diverses opérations, les armateurs sont conseillés par des bureaux d'ingénieurs et des sociétés de classification spécialisés qui s'engagent sur la qualité technique des navires mis à l'eau.

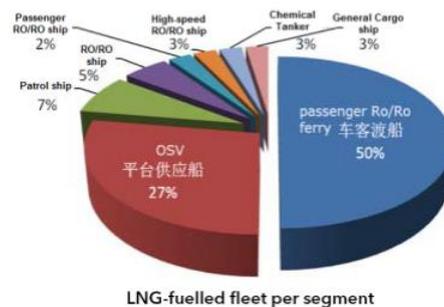
Les types de bateaux concernés

Pour la phase d'amorçage du marché du GNL, les navires à équiper en priorité sont ceux dont les services fréquentent régulièrement les mêmes ports avec un mode d'exploitation en boucle. Cette option est bien sûr renforcée si les services s'inscrivent dans les zones ECA. On retrouve ainsi les ferries, les rouliers, les bateaux de croisière qui ont intérêt à s'équiper au GNL pour des raisons de pollution dans les ports, de confort et d'image pour les passagers, enfin les porte-conteneurs qui opèrent sur la base de services réguliers (Fig.14). A cela s'ajoutent les unités fluviales qui évoluent dans des zones denses et dont la flotte est confrontée au renouvellement d'une motorisation souvent hors d'âge. Du fait d'un nombre restreint d'unités à équiper le développement de standards propre à la voie d'eau paraît peu probable. Aussi se pose la question de la marinisation des moteurs routiers au gaz (GNL mais aussi GNC), qui consiste en l'adaptation des dispositifs routiers aux conditions d'exercice sur la voie d'eau.

Figure 14. Typologie des navires équipés d'une propulsion au GNL (en % du nombre d'unité en service)

Which types of ships are most suitable for using LNG as fuel?

- **Ships navigating on fixed route**, due to that bunkering and ship design are much easier.
 - Car/passenger ferries
 - Platform supply vessels
 - Ro-Ro
- **Ships with large open deck** which is available for arranging LNG storage tank, to reduce the cargo tank loss.
 - Oil tankers
 - Chemical tankers



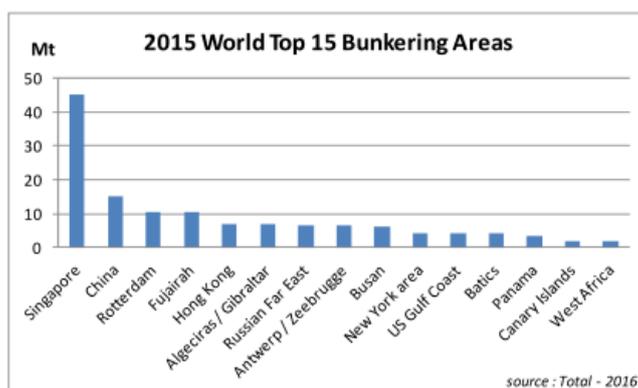
Le positionnement des ports

Géographie et logistique du soutage : vers une structure GNL moins hiérarchisée des ports ?

La géographie des échanges des produits énergétiques influence directement les flux maritimes qui en résultent. Elle a aussi un impact sur le choix des ports de soutage tant pour le fuel lourd aujourd'hui que demain pour le GNL. Toutefois, entre les deux énergies, les logiques de concentration sur des hubs d'avitaillement en carburant pourraient sensiblement évoluer.

Les produits pétroliers pour le carburant des navires représentent 245 Mt/an, dont 75% de fuel lourd (HFO) et 25% pour le diesel marin (MGO). La principale place portuaire pour le soutage est Singapour avec près de 20% du marché mondial soit 48.6 Mt métriques, suivi par la Chine (13 Mt m), Rotterdam (10.1 Mt m) et l'émirat de Fujairah près du détroit d'Ormuz (24 Mtm), viennent enfin les ports de Honk-Kong (7.4 Mt m) et d'Anvers (6.5 Mt m) (Fig.15). La localisation de ces hubs s'explique par la faible propension des navires à se détourner de leurs itinéraires pour effectuer leurs soutages. Par ailleurs le fuel lourd étant très énergétique, un avitaillement permet d'effectuer de longues distances. La combinaison d'importantes raffineries et une position de carrefour maritime assure donc la domination des quelques sites portuaires centraux cités plus haut.

Figure 15. Les 15 zones portuaires majeures de soutage en fuel lourd (2016)



Ces mêmes grands ports ont aussi investi lourdement dans l'avitaillement GNL et leur position de pivot sur les routes maritimes en gardera tout l'attrait, pour autant que les économies d'échelle peuvent se répercuter sur le tarif proposé pour le gaz naturel. Le cas emblématique est celui de Singapour qui n'était pas jusque-là une place importante pour le GNL mais qui entend investir dans d'importants terminaux pour assurer le soutage requis par les armements. La distribution très hiérarchisée du fuel lourd pourrait être appelée à évoluer avec le GNL. En effet, une plus faible capacité d'emport et une moindre densité énergétique devraient avoir pour effet de multiplier les ports de soutage sur les itinéraires suivis.

Comparé aux 270 Mt de GNL transportées chaque année par 500 méthaniers de la flotte mondiale, son usage comme carburant marin demeure anecdotique à ce stade : de l'ordre de 400.000 tonnes sont consommées en 2016 par les 100 navires fonctionnant au GNL, soit 1,4 pour mille. Pour Luc Gillet, vice-président de Total Shipping, en 2025, 10 Mt de GNL pourraient être utilisées comme carburant marin, soit 5 % du marché global des soutes. Pour l'instant, la logistique grève encore le prix du soutage, mais une plus grande diffusion du GNL devrait résoudre le problème. La clé repose sur la

construction d'avitailleurs méthaniers qui est aujourd'hui dix fois plus cher à construire qu'un avitailleur classique, ce qui se répercute sur le coût de l'opération (*L'Antenne* du 12 avril 2018).

Il y a aujourd'hui dans le monde entre 200 et 300 navires GNL en service, en commande ou *GNL ready* (conçus pour faciliter une remotorisation au GNL). Ces chiffres sont à rapporter à une flotte commerciale totale de plus de 50 000 unités. La question de savoir si les infrastructures d'avitaillement seront présentes ou pas n'est plus un sujet, dès l'instant où les précurseurs comme CMA CGM ou Carnival acceptent de s'engager sur dix ans avec un fournisseur de GNL pour des lignes régulières. La régularité des services qui permet d'anticiper la demande n'est toutefois pas généralisable à l'ensemble des trafics. Fin 2019, 115 sites portuaires à l'échelle mondiale assurent un service de soutage.

Les actions spécifiques des autorités portuaires en faveur du GNL

A la question : « sous quelles formes, les autorités portuaires peuvent-elles intervenir pour soutenir son développement ? », une récente contribution scientifique (Wang et al., 2015) met en lumière de manière synthétique les leviers d'action des autorités portuaires en matière de développement du GNL. Les auteurs combinent une réflexion théorique aux observations recueillies dans 8 ports d'Europe du Nord engagés dans le développement du GNL : Anvers et Zeebruges (Belgique), Rotterdam (Pays-Bas), Brème et Hambourg (Allemagne), Göteborg, Helsingborg et Stockholm (Suède). Deux d'entre eux (Zeebruges et Rotterdam) disposent d'importantes installations *large-scale GNL* pour l'alimentation des réseaux gaziers européens et entendent jouer un rôle de hub pour cette nouvelle ressource. L'analyse identifie un certain nombre de démarches qui prennent appui sur des grandes attributions fonctionnelles relevant des autorités portuaires :

La fonction de gestion du domaine foncier et des infrastructures portuaire (Landlord function)

Les installations GNL exigent des aménagements lourds pour assurer l'accès maritimes des approvisionnements (construction de quais, de jetées). Elles sont précédées par des études de faisabilité techniques et économiques et associées à des débats publics qui peuvent être entrepris très en amont pour impliquer divers acteurs publics ou privés intéressés au développement de la filière. Cette démarche conduit à concevoir une planification exigeante, à anticiper des réserves foncières propres aux exigences d'exploitation et de sécurité. La réalisation préalable des études permet d'accélérer les opérations de réalisation le moment venu (principe du *kick-start*), tout en favorisant en amont le rapprochement des acteurs-clés de l'opération. Des structures de veille juridique et technique peuvent être mises en place avec des partages d'information via des coopérations interportuaires (ainsi entre Anvers et Göteborg).

Dans le cadre des contrats d'amodiation ou de marchés public, des clauses soutenant la conversion au GNL des engins de manutention portuaire, ou de pilotage peuvent être précisés. De même certaines fonctions spécifiques comme le dragage peuvent être concernées. Des avantages ciblés peuvent aussi être accordés aux navires concernés. Il est courant d'offrir un abaissement des droits de port pour les navires mus au GNL au titre d'une action incitative à la réduction des pollutions portuaires. On parle alors « *d'Environmental Ship Index* ou ESI ». Un rabais de l'ordre de 10% est accordé au port d'Anvers.

La fonction de régulateur

Tout l'encadrement réglementaire pour les opérations maritimes et portuaires ne relève bien sûr pas des autorités portuaires. Ces dernières peuvent cependant influencer sur les mesures prises ou la définition de nouvelles directives techniques ou légales. Elles peuvent aussi se traduire par un soutien apporté à la mesure des pollutions atmosphériques auprès des agences compétentes, en précisant les périmètres de risques potentiels des installations existantes ou à créer, et en orientant les activités susceptibles de s'y installer.

Les fonctions opérationnelles

La tendance à la libéralisation des services portuaires (manutention, entreposage, soutage) a de fait réduit l'intervention directe des autorités portuaires dans l'offre GNL. L'autorité portuaire intervient en revanche dans sa fonction de chef de file et de manager de la Communauté portuaire, en charge d'insuffler de manière proactive des actions profitables au collectif d'acteurs de la place portuaire. Son action peut aussi s'étendre au-delà du seul périmètre portuaire et trouver une expression concrète à travers un travail de mise en relation et de coordination autour de la promotion du GNL : conférences, séminaires, groupes de travail. L'autorité portuaire occupe alors une fonction de facilitateur en capacité de susciter l'échange de données et un apprentissage collectif.

Un exemple de constitution de groupes de travail réunissant tous les acteurs de la filière, le cas de **Marseille** : « Entre mars et juillet 2018 le groupe de travail GNL a élaboré un schéma directeur détaillant les investissements requis, leur phasage et les modes d'exploitation possibles. Il a réuni les armateurs ayant manifesté un intérêt pour la filière GNL au départ de Marseille/Fos, les responsables des deux terminaux GNL établis à Fos (Elengy et Fosmax GNL), un fournisseur de GNL (Total Marine Fuels Global Solutions) ainsi que la plateforme GNL carburant marin et fluvial » (www.meretmarine.com, 21/11/2018).

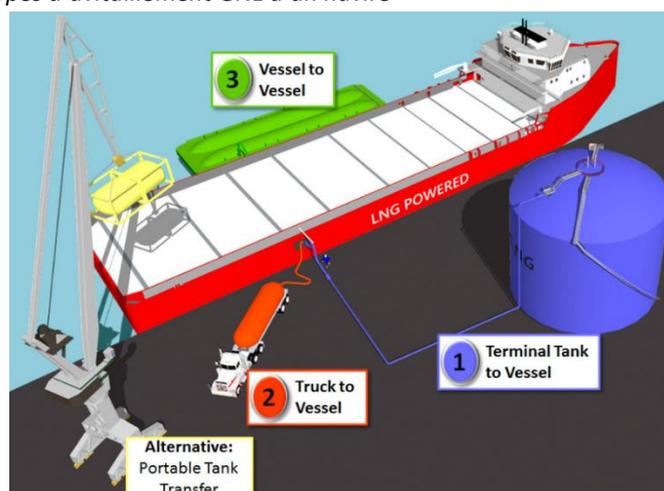
L'incitation financière portée par le Port est un élément central de ces politiques. L'éventail des possibles est très riche : développement de *joint-ventures* ciblées ou de PPP avec le privé, apport de subventions directes ou aides au montage de projet, de dossiers d'aides nationales ou européennes etc., lancement de projets-pilotes pour amorcer l'offre.

Les opérations d'avitaillement portuaires des navires GNL

Pour alimenter le navire, trois grandes options sont possibles (Fig.16) :

1. L'alimentation directe par conduite depuis la cuve de stockage vers le navire, sans intermédiaire ;
2. L'emploi d'un camion qui alimente le navire depuis le quai ;
3. Le recours à un navire avitailleur qui alimente le navire à quai.

Figure 16. Les types d'avitaillement GNL d'un navire



L'alimentation directe a l'inconvénient d'imposer une position à quai prédéterminée, là où les deux autres solutions rendent un avitaillement plus souple sur le lieu d'amarrage du navire avec une opération qui peut s'effectuer en temps masqué, alors que s'effectuent les opérations de chargement ou de déchargement. Cette organisation suppose que la réglementation l'autorise.

Le soutage par camion-citerne (*Truck to Ship*), dite « *GNL Easy* », est « *rapide et facile à mettre en œuvre et ce, à moindre coût* » dans un périmètre de plusieurs centaines de kilomètres autour des grands terminaux GNL. Pour les navires de croisière et les porte-conteneurs *deep sea*, l'avitaillement nécessite un navire ou une barge de soutage (*Ship to Ship*). « *L'investissement de départ se chiffrera alors en dizaines de millions d'euros* ».

« L'option *Truck to Ship* peut être une solution de soutage pour la production d'électricité durant l'escale à quai (*Cold ironing*), les bateaux fluviaux, les navires de servitude, les ferries et roro, et même dans certains cas, les porte-conteneurs *feeders*; le *Ship to Ship* est la seule solution pour les navires de croisière et les grands porte-conteneurs, compte tenu de l'importance des quantités unitaires à souler qui sont de plusieurs milliers de m³ à chaque fois (AFG, 2016). »

Figure 17. Accès au terminal GNL de Sodegaura (Baie de Tokyo - Japon) (Steering Committee Yokohama, 2016).

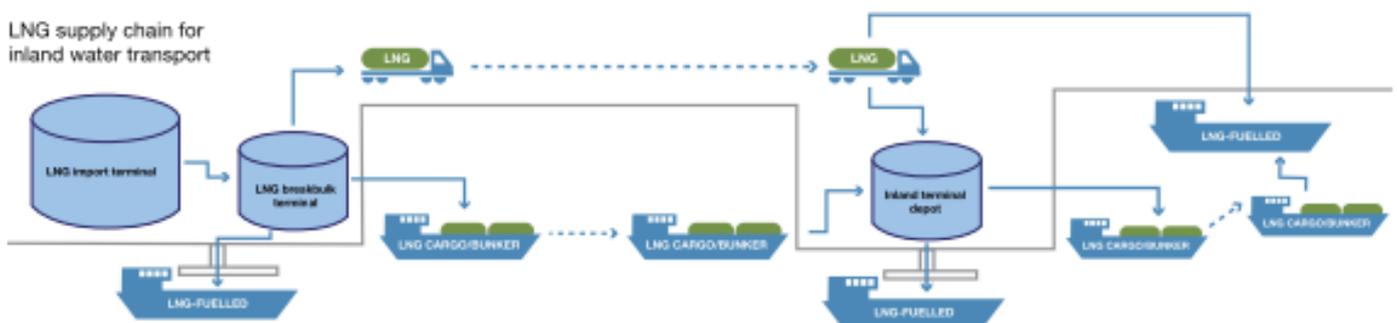


Des aménagements distincts sont souhaitables pour accueillir les navires.

Figure 18. Chargement au terminal GNL de Negishi (Baie de Tokyo)

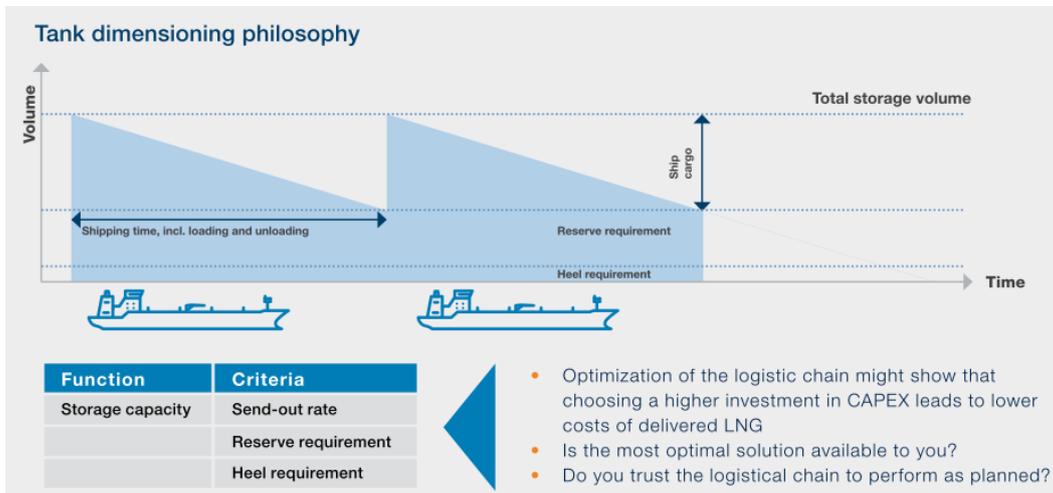


La chaine d'approvisionnement du GNL (Fig.19)



La chaine d'approvisionnement du GNL (Fig.19) implique une logistique spécifique qui repose sur l'optimisation des moyens à mettre en œuvre, du site de stockage à l'approvisionnement du navire. Interviennent notamment, la question du site, de l'installation (flottante ou terrestre) et bien sûr du dimensionnement des installations en fonction du nombre de navires à desservir, des besoins unitaires et de la fréquence de réapprovisionnement.

Figure 20. Approches graphiques de la régularité du réapprovisionnement d'un terminal GNL (Wärtsilä, 2018)



Il faut s'assurer des engagements précis des intervenants pour ces divers éléments. A ce sujet, le motoriste finlandais Wärtsilä (2018) a édité un document indicatif fort utile qui pose les questions centrales pour l'opérateur afin de l'aider à calibrer un système de distribution dont il aura besoin : choix de localisation du soutage, évaluation des besoins locaux, dimensionnement du terminal, acteurs à impliquer, prise en compte des risques, etc.), l'ensemble relève d'une démarche classique de logistique (Fig.19) couplée à ses compétences techniques dans le domaine. Le volume de stockage disponibles dans les terminaux doit tenir compte de la classe des navires à avitailler et du nombre des opérations. Les volumes unitaires et la régularité des soutages des divers types de navires (Fig. 21) sont à mettre en regard des capacités d'approvisionnement (Fig. 22). Pour l'amorçage de services, la livraison du GNL par camions, parfois sur de longues distances, apparaît comme la solution préalable à la pérennisation d'installations techniques plus lourdes.

Figure 21. Adéquation des solutions de soutage selon les types de navires (Source AGF, 2016).

Type de navire / activité	Q soutage Unitaire m ³ GNL / opération	Truck to Ship	Shore to Ship	Ship to Ship	
				Small bunker vessel 1 000 - 2 000 m ³	Large bunker vessel 5 000 - 7 000 m ³
Grands porte-conteneurs	5 000 - 7 000	Orange	Orange	Orange	Vert
Navires de croisière	1 800 - 4 000	Orange	Orange	Jaune	Vert
Porte-conteneurs Feeder	900 - 1 800	Jaune	Jaune	Vert	Vert
Ferry, RoRo	300 - 700	Vert	Vert	Vert	Vert
Navires de servitude	150 - 300	Vert	Vert	Vert	Jaune
Bateaux fluviaux	40	Vert	Vert	Jaune	Orange
Electricité durant l'escale	50	Vert	Orange	Orange	Orange

Légende : Vert = possible ; Jaune = possible sous certaines conditions ; Orange = non pertinent

nota 1 : la production d'électricité durant l'escale peut être assurée par le navire lui-même ou par une barge spécifique.

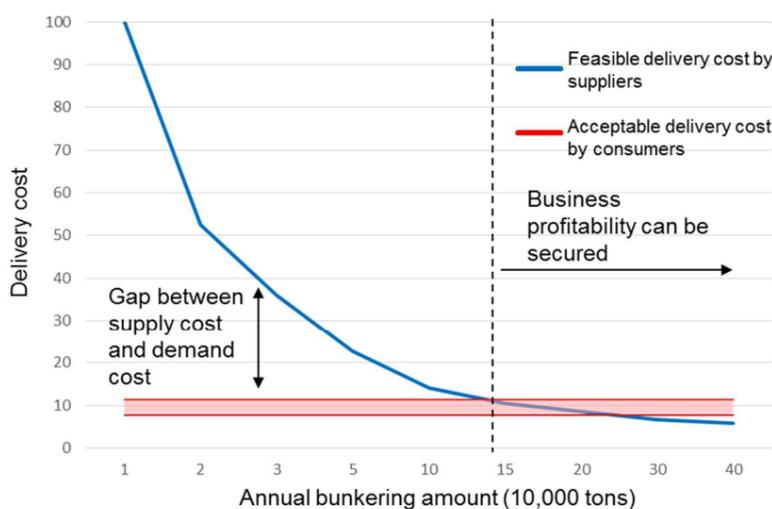
nota 2 : la quantité unitaire indiquée pour les grands porte-conteneurs suppose un soutage à chaque extrémité de la ligne.

Figure 22. Volume unitaire selon les types d'avitaillement GNL

Camion-citerne	50 m ³ : 0,35 M€
Station satellite à terre	150 m ³ : 0,5 - 1 M€
	300 m ³ : 2 - 3 M€
	1 500 m ³ : 6 - 10 M€
	7 000 m ³ : 30 - 40 M€
Barge de soutage	5 000 m ³ : 20 M€
Navire de soutage	5 000 m ³ : 30 - 45 M€
	15 000 m ³ : 50 - 60 M€

De fait, il existe une prime à la taille des terminaux qui avantage les sites de stockage les plus importants. Une étude japonaise détermine que la capacité minimale requise pour l'amortissement des coûts fixes exige le traitement d'un volume minimal de 10 000 tonnes annuels (*Steering Committee Yokohama*, 2016) (Fig.22).

Figure 22. Coût unitaire d'avitaillement d'un terminal GNL selon le volume annuel total vendu



La standardisation de données techniques

Les facilités d'avitaillement dépendent aussi étroitement des normes techniques qui doivent être largement diffusées pour assurer l'interopérabilité de l'offre, dans des conditions de sécurité stricte pour le navire et l'équipage. La définition de ces conditions est un préalable indispensable à la diffusion du GNL. Les normes internationales en vigueur depuis plusieurs décennies, concernent les conditions de transport et de chargement des méthaniers. Les opérations de soutage en revanche n'étaient pas jusque-là codifiées. Les délais des études techniques et les négociations qui revêtent des enjeux industriels et politiques forts ont pu peser sur l'attentisme ambiant pour le GNL comme carburant marin. La normalisation internationale, portée par les experts norvégiens aura nécessité une dizaine d'années d'effort jusqu'à l'adoption récent d'un cadre législatif et technique international commun. Aujourd'hui, le cadre est adopté et assure une visibilité qui jusque-là faisait défaut au secteur. Il n'est donc pas inutile de revenir sur les étapes de ce processus pour en préciser les éléments techniques dans un second temps.

Un rapport de synthèse établi par la *Germanischer Lloyd* (2015) permet ainsi de préciser les phases d'élaboration des normes liées au GNL marin. Les précurseurs dans la définition des spécificités technique du GNL sont les Norvégiens qui ont aussi activement contribué à la définition de standards internationaux via l'OMI (Organisation maritime internationale). Un cadre provisoire est d'abord adopté en 2009 « *Guidelines on Safety for Natural Gas-Fuelled Engine Installations in Ships* ». Ils ont également œuvré dans les groupes de travail (*Technical Committee 67*) au sein de l'Organisation Internationale de Standardisation ISO (*International Organisation for Standardisation*) à partir de 2011. Le code IGF de l'OMI pour les navires propulsés au gaz naturel (*International Code of Safety for Ship Using Gases*) est entré en vigueur au 1/1/2017. Il permet de spécifier les installations requises à bord et précise les procédures de soutage du GNL ainsi que les responsabilités des différents opérateurs. Des amendements ont été apportés au chapitre II-1 SOLAS (*Safety of Life at Sea*) concernant les dispositifs techniques (machinerie, installations techniques, lieux de stockage à bord et système de distribution). Des démarches similaires ont été entreprises pour le transport fluvial, pour encadrer le transport du GNL. Celui-ci était déjà établi pour le transport et la manutention maritime via la SIGTTO (*International Society of Gas Tanker and Terminal Operator*) et l'OCIMF (*International Oil companies*

Marine Forum) à travers des textes comme le « *Ship to Ship Transfer Guideline* » ou les règles ISO 28460 « *Ship to shore interface and port operations* ».

Cette dimension internationale est complétée par un encadrement européen, à travers le règlement européen EU 1025/2012. Dans la définition de normes, les instances communautaires s'appuient sur l'expertise d'organisations européennes de standardisation, dont le CEN (*European Committee for Standardisation*), le CENELEC (*European Committee for Electrotechnical Standardization*) et la CCNR (*Commission Centrale de Navigation sur le Rhin*) en concertation avec les organismes nationaux de certification, eux-mêmes parties prenantes via leurs fonctions de membres du CEN et de l'ISO. C'est dans ce cadre national et international qu'ont été menées diverses expertises techniques.

Les opérations portuaires

La diversité des opérations portuaires et maritimes liées au GNL doivent être caractérisées et précisées (source : Port de Rotterdam cité par (Germanischer Lloyd, 2015) (Fig. 23).

Figure 23. La diversité des opérations portuaires et maritimes liées au GNL (Germanischer Lloyd, 2015)

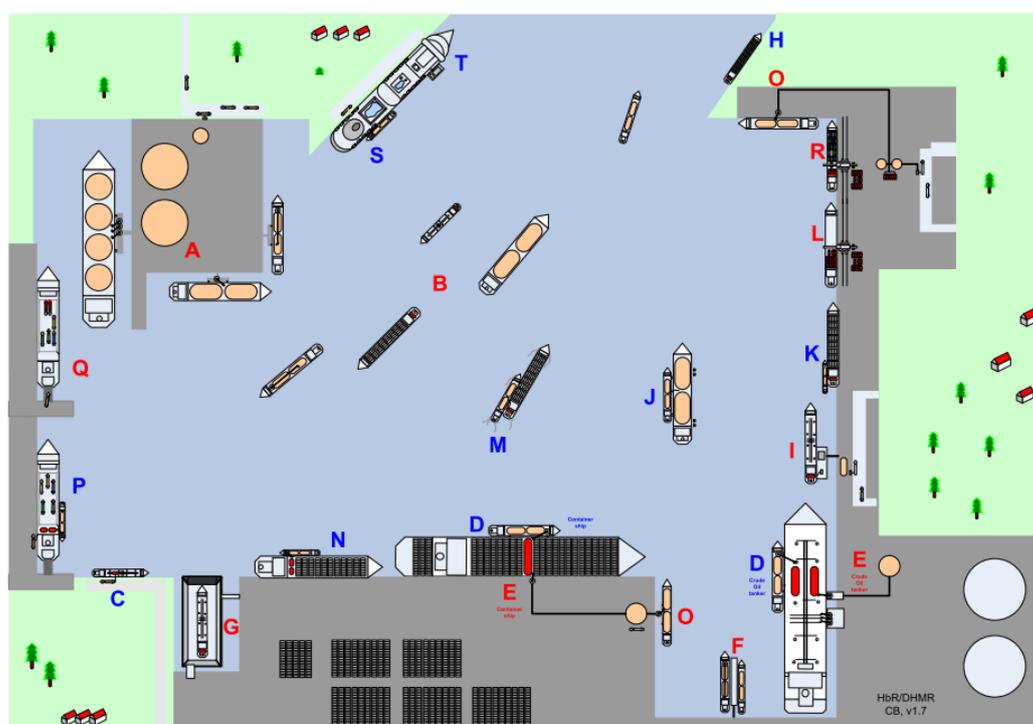
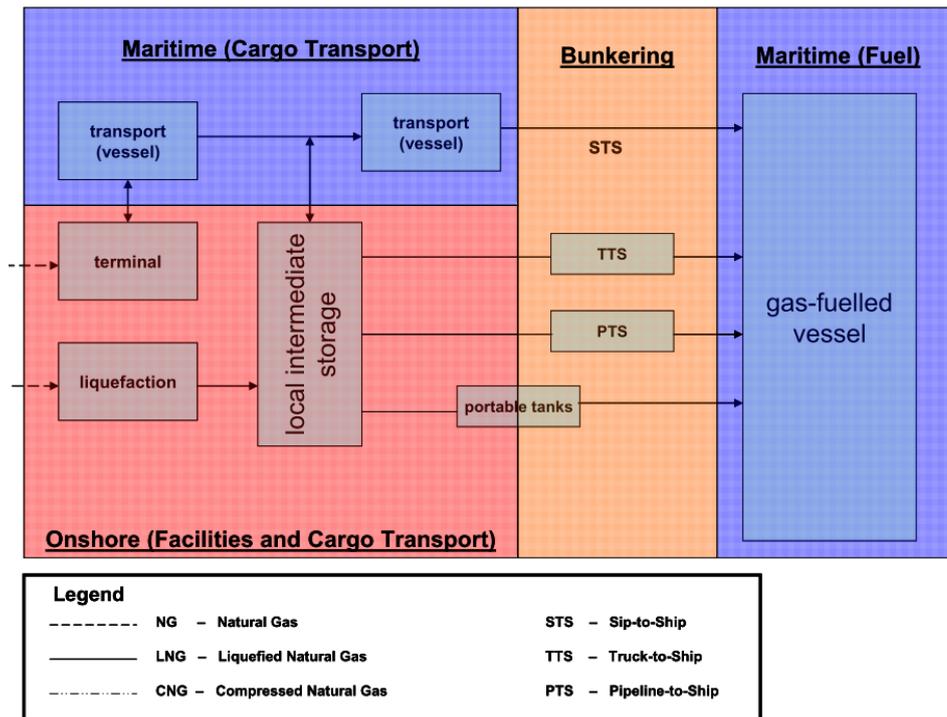


Table 1 – Legend to figure 1 – Potential LNG port activities in 2020 (source: Port of Rotterdam)

A	Large LNG terminal, break bulk terminal	Import, export, gas to the grid, loading of LNG tank trucks, LNG tankers and LNG bunker vessels
B	Maritime traffic	Including inland- and seagoing LNG tankers, LNG bunker vessels, LNG fuelled inland vessels and LNG fuelled seagoing vessels
C	Inland vessel bunkering from a tank truck	Unloading LNG tank truck, bunkering of a LNG fuelled inland vessel or port service vessel
D	Seagoing vessel bunkering with a large bunker vessel	Ship to ship LNG bunkering of large container ships or large crude oil carriers with a large LNG bunker vessel
E	Large seagoing vessel bunkering from the shore	Shore bunkering of large container ships or large crude oil carriers from a local LNG buffer storage
F	Lay by berth for inland LNG (bunker) tankers	One cone berth for waiting inland LNG tankers
G	Port service/maintenance/repair for LNG	LNG-cryogenic maintenance, repairs on LNG tankers or LNG fuelled ships, cooling and de-gassing of LNG installations etc
H	Lay by berth for LNG fuelled ships	Just an 'ordinary' lay by location
I	Bunkering from a bunker pontoon	LNG bunkering from a bunker pontoon of inland LNG fuelled vessels, small seagoing LNG fuelled vessels, LNG fuelled port service vessels
J	Ship to Ship (STS) LNG transfer	LNG transfer between seagoing LNG tanker, floating storage, Inland LNG tankers and LNG bunker vessels
K	STS LNG bunkering of an inland LNG fuelled vessel	LNG bunkering of an inland LNG fuelled vessel with a small LNG (inland) bunker vessel
L	Distribution of LNG tank containers	Container vessel loading of LNG tank containers for distribution
M	Sailing STS LNG bunkering	LNG bunkering of an inland LNG fuelled vessel with a small LNG (inland) bunker vessel during sailing
N	STS LNG bunkering of a Short Sea / Feeder vessel	LNG bunkering of a LNG fuelled short sea / feeder vessel with a small LNG (inland) bunker vessel
O	Loading of a local LNG (buffer) storage	LNG transfer from a LNG tanker to a local LNG storage of bunker pontoon
P	Ferry or Ro/Ro bunkering	LNG bunkering from the shore, with a LNG tank truck or STS from a small bunker barge
Q	RoRo ship re-fuelling by tank container	Unloading (empty) and loading trailers with LNG tank container for the ship propulsion
R	Container ship re-fuelling by tank container	Unloading (empty) and loading LNG containers for the ship propulsion
S	LNG bunkering of a cruise vessel	LNG bunkering of a Cruise Ship with a tank truck or LNG bunker vessel
T	Cold Ironing of a cruise vessel	Electric power supply by floating LNG driven generator set

En fonction des opérations, les règles qui s'appliquent relèvent de catégories diverses touchant à la réglementation maritime (en bleu dans le schéma) ou aux réglementations terrestres et portuaires (en rouge), ou encore à l'interface entre les deux dispositifs pour l'avitaillement en GNL (en marron) (Fig.24)

Figure 24. Type de droit s'appliquant au soutage du GNL



La plupart des ports d'Europe du Nord qui se sont lancés dans les activités de soutage GNL, ont retenu des solutions *ship to ship* (STS) pour les navires océaniques et des solutions *truck to ship* (TTS) pour les navires de plus petite taille ou opérant sur de courtes distances (SSS) ainsi que pour les unités de navigation intérieure. Les temps d'approvisionnement et les volumes déterminent bien l'option retenue.

Les grands terminaux GNL constituent des sites privilégiés d'approvisionnement. Ils bénéficient en effet d'excellentes conditions nautiques et de prix faibles que leur assure l'importance des volumes traités pour la distribution à plus large échelle. Une bonne partie des investissements tant pour l'accessibilité que pour le raccordement terrestre relèvent d'impératifs nationaux. C'est moins le cas pour les installations de type *small-scale-GNL* ou des dépôts locaux de GNL qui ne peuvent pas mutualiser les coûts dans une même proportion, d'autant plus que certains coûts (sécurité, accès maritimes) ne diminuent pas proportionnellement avec la taille. Dans ce cas, la recherche d'autres clients terrestres est un impératif pour pouvoir amortir les coûts des installations. Du fait des caractères physiques du produit, les stocks de petite taille ne peuvent en outre qu'être stockés de 6 à 8 semaines.

Dans un contrat d'approvisionnement, le prix unitaire du GNL est fixé par une variable combinant des éléments logistiques et commerciaux (contrat type *Delivered Ex-Ship* - DES) selon un ajustement qui varie selon le lieu de cotation à travers le monde. Le prix de référence du Small-scale GNL dépend ainsi du prix du Large-scale GNL. Comme nous l'avons vu précédemment, ces derniers sont plus étroitement liés au prix du pétrole brut en Asie. En Europe, ils sont liés aux TTF (*Title Transfer Facility*) cotés aux Pays-Bas ou au NBP (*National Balancing Point au Royaume-Uni*). Aux Etats-Unis le marché s'établit sur la cotation du pôle majeur Henry Hub. Les contrats de livraison spécifient généralement l'engagement sur un volume annuel (*Annual Contract Quantity* ou ACQ). Les contrats de vente se font aujourd'hui dans la cadre d'une livraison de type DES, *Delivered Ex-Ship*, qui vient en plus du coût de transport, permettant pour le fournisseur de desservir plusieurs clients lors d'une tournée. Pour des navires plus

importants, des contrats FOB *Free On Board* peuvent être obtenus où le coût de transport est transféré au fournisseur.

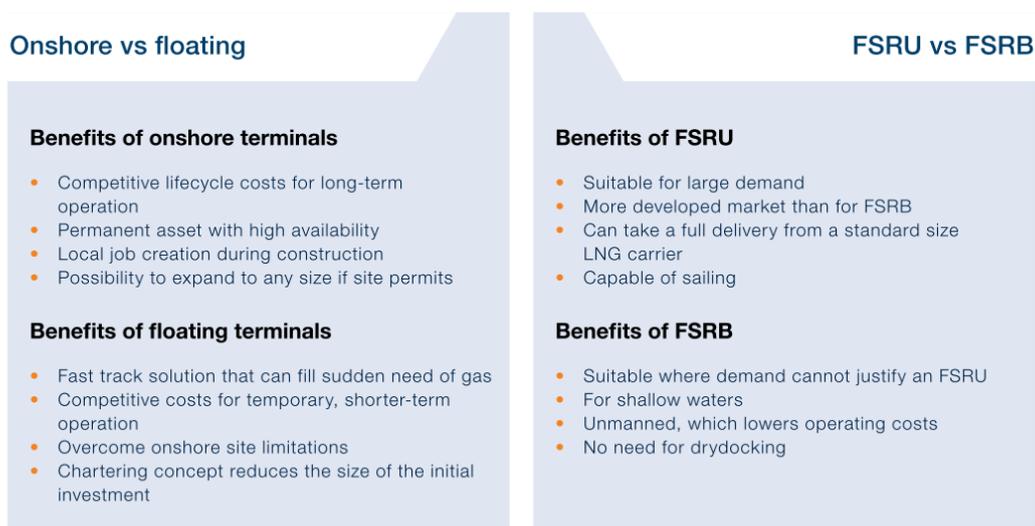
Deux grands types d'installations portuaires spécifiques sont envisageables :

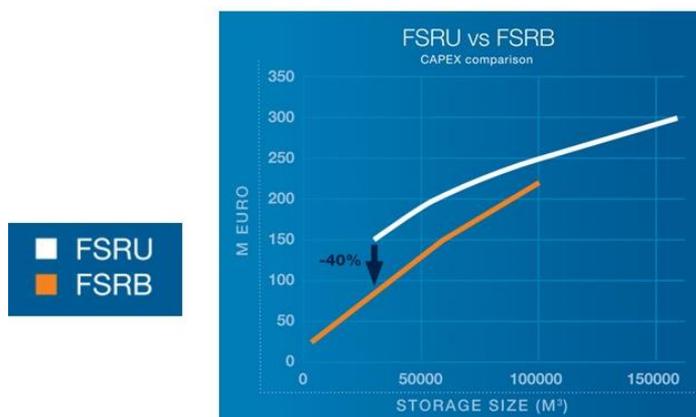
- les **terminaux flottants** (FSRB : *floating storage and regasification units or barges*) : leur coût plus élevé est compensé par une disponibilité plus rapide et une possibilité de relocalisation ; c'est une option pour une solution temporaire ou pour valider un site. Les unités flottantes disposent d'une certaine autonomie de mouvement et d'une plus grande capacité, là où les barges doivent être poussées dans des eaux plutôt calmes.
- les **terminaux terrestres** (*Small-scale onshore terminals*), moins coûteux à mettre en œuvre, il représente un investissement plus durable qui est toutefois ajustable à l'évolution de la demande



Pour le choix des installations, plusieurs options sont à envisager pour les terminaux de petites tailles : les terminaux flottants (FSRB pour *Floating storage and regasification barges*) ou les terminaux terrestres fixes (FSRU pour *Floating storage and regasification units*), dont les avantages relatifs peuvent être comparés selon les types d'usage et rapportés aux coûts d'exploitation.

Figure 25. Grille d'analyse du choix des terminaux flottants vs terminaux terrestres et unités flottantes mobiles vs unités flottantes fixes (Wärtsilä, 2018)





La question de sécurité dans les opérations de soutage du GNL

Dans un terminal méthanier, le GNL est toujours manipulé dans de la cadre d'équipements complètement fermés et n'est donc jamais en contact avec l'extérieur, notamment l'oxygène de l'air, qui, sous certaines conditions, peuvent conduire à l'explosion. Les éléments qui suivent permettent de bien cerner les risques liés à la manutention du gaz naturel. Ils sont pour l'essentiel extraits de la fiche du maître d'œuvre, Gaz de Normandie, pour le projet méthanier d'Antifer tel qu'il a été soumis lors du débat public (cpdp.debatpublic.fr/cdpd-antifer).

On peut classer les dangers liés aux GNL sont quatre entrées (Fig. 26) :

- le danger lié à la basse température du gaz naturel liquéfié
- le danger lié au caractère inflammable du gaz naturel
- le danger lié à l'explosion d'un mélange air-gaz en milieu confiné
- le danger lié à une vaporisation brutale du GNL au contact de l'eau.

Figure 26. Synthèse des effets liés au GNL

EFFET INDESIRABLE	DISTANCE D'EFFET	OBSERVATIONS
EFFETS TOXIQUES	Effets très localisés à l'intérieur du terminal	Seul le personnel pourrait y être exposé. Seule la diminution du taux d'oxygène dans l'air est potentiellement dangereuse. Le gaz naturel n'est pas toxique.
EFFETS CRYOGÉNIQUES (brûlures froides)	Au contact direct d'un équipement ou d'une fuite	Seul le personnel pourrait y être exposé.
SURPRESSION (explosion de nuage de gaz)	Distance d'effet faible	Aucune explosion de grande ampleur n'est possible s'il n'y a pas de zones confinées ou encombrées.
SURPRESSION (TRP)	Distance d'effet faible	Pas de risque pour les coques des navires.
RADIATIONS THERMIQUES (feu)	Potentiellement importante	La démarche de maîtrise des risques à la source vise à réduire la probabilité et les distances d'effet de ces phénomènes.

Le GNL est un gaz incolore et quasiment inodore. Il ne présente en soi aucun danger toxique et peut être respiré sans dommage jusqu'à une concentration de 25% dans l'air. Au-delà c'est le manque d'oxygène et non le méthane lui-même qui est dangereux. Le GNL ne se mélange pas à l'eau, il s'évapore dans l'air, n'induisant pas de risque de pollution marine en cas de collision ou de fuite. Le navire ou la cuve ne peut pas exploser, car le GNL qui reste à l'intérieur du contenant, privé de comburant, en l'occurrence l'oxygène, ne peut s'enflammer.

Une réaction de combustion peut néanmoins donner naissance à différents phénomènes dangereux, selon les conditions exactes dans lesquelles elle a lieu. Un mélange trop pauvre ou trop riche en

carburant ne peut pas s'enflammer, pour les vapeurs de GNL, ces proportions critiques sont respectivement 5% et 15% en volume (Ineris 2011).

On distingue alors :

- **Un feu de flaque**, causé par l'inflammation des vapeurs de GNL créées par une flaque de GNL au sol. Ce phénomène dure jusqu'à épuisement du GNL au sol.
- **Un feu de nuage**, causé par l'inflammation retardée d'un nuage de vapeurs de GNL à la dérive. Ce phénomène ne dure que quelques secondes, la flamme refluant rapidement vers la source de la fuite dès que le contenu du nuage est consommé.
- **Un feu « torche »**, causé par l'inflammation d'un panache de GNL ou de gaz naturel sous pression. Ce phénomène dure tant que la fuite est alimentée.

« En milieu non confiné et en absence d'obstacles, l'inflammation d'un nuage de vapeur de GNL provoque une déflagration lente avec des effets de surpressions négligeables. Sur un terminal méthanier, compte tenu de la simplicité des équipements nécessaires, il est facile d'éviter de créer des zones confinées ou encombrées ce qui permet d'éviter les explosions de grande ampleur » (Ineris 2011).

En cas de déversement important de GNL dans l'eau un phénomène de vaporisation rapide (appelé « transition rapide de phase » ou « TRP ») peut se produire, entraînant des surpressions dites « explosions froides ». De nombreuses études et essais ont montré que cela ne présente pas de risque pour la coque d'un navire situé à proximité immédiate (Ex. : études Sandia, DNV, ABS Consulting).

Le principal danger de la combustion d'un nuage de vapeur est l'effet thermique très intense (passage du front de flamme). On considère en général qu'il n'y a pas d'effet notable sur les structures (dégâts superficiels possibles et éventuellement fragilisation de structures métalliques légères) mais que des effets sont possibles sur les hommes (effets létaux limités à la taille du nuage). (...) La flamme tend à remonter progressivement vers la source d'émission et à générer un feu de nappe. Le feu de nuage peut aussi être initiateur d'un incendie. Les feux de nappe de GNL sont des feux très intenses avec des émissivités très supérieures à celles de feux d'hydrocarbures classiques. Les moyens de secours (en particulier production de mousse) doivent en tenir compte (systèmes fixes actionnables à distance à privilégier). Les vapeurs générées lors d'un déversement important de gaz liquéfié peuvent parcourir une longue distance jusqu'à une source d'ignition ou d'inflammation et produire un retour de flamme. (Ineris 2011).

L'échauffement accidentel intense (en cas d'incendie par exemple) d'un récipient contenant ce liquide peut conduire à une rupture et à la vaporisation instantanée du produit, dont l'inflammation des vapeurs peut conduire à une déflagration ou à une explosion. Les risques d'explosions sont rares car le gaz, même s'il est extrêmement inflammable. Il peut néanmoins former des mélanges explosifs avec l'air en zone confinée ou encombrée, ce qui est rare dans un terminal méthanier.

Les risques liés aux opérations d'approvisionnement sont plus liés aux manutentions des opérateurs avec un produit à -160 °C (brûlures cryogénique). Aussi, des précautions doivent être prises pour éviter tout contact qui entraînent des brûlures par le froid. Les dommages aux tissus corporels causés s'expriment par des gelures au contact du gaz liquéfié. Les vapeurs en revanche ne sont pas irritantes.

D'autres éléments concernant la localisation des terminaux méthaniers peuvent être relevés à la suite de l'environnementaliste canadien Philippe Dumont (2016) :

En 1997, la SIGTTO (*The Society of International Gas Tanker and Terminal Operators*) a publié un document intitulé Sélection et conception du site pour les ports et les jetées portuaires de GNL. Le document contient les lignes directrices suivantes (traduites ici de l'anglais) :

- Un terminal de GNL doit être situé à un endroit où les vapeurs d'une fuite ou d'un déversement ne peuvent pas affecter des civils ;
- Les quais d'amarrage des navires-citernes pour GNL doivent être éloignés de la voie navigable pour éviter toute collision, car tous les autres navires doivent être considérés comme une source d'inflammation ;
- Un terminal de GNL doit être situé à un endroit où il n'entre pas en conflit avec d'autres usages, actuels ou futurs, de la voie navigable ;
- Les voies navigables longues et étroites à l'intérieur des terres doivent être évitées dues aux risques maritimes plus élevés ;
- L'emplacement d'un terminal de GNL doit éviter les voies navigables présentant des dangers.

Pour prévenir les dangers du GNL (Fig. 27), les ports méthaniers doivent se doter de mesures de sécurité additionnelles très strictes. Par exemple, certaines autorités portuaires appliquent une zone d'exclusion sécuritaire dans un rayon de 0,5 mile nautique (926 mètres) autour de chaque navire méthanier. Aucun bateau n'a le droit de croiser ou de dépasser le navire-citerne en transit à l'intérieur des limites du port.

Un terminal méthanier est considéré comme une installation SEVESO Seuil Haut s'il stocke une quantité de GNL supérieure à 200 tonnes. Au stade actuel des études, l'évaluation des distances au-delà desquelles il n'y a pas de risque pour les personnes donne les résultats suivants :

- 460 m autour du poste de déchargement
- 350 m autour des réservoirs : 350 m
- 190 à 230 m autour des équipements de regazéification :

Un certain nombre de dispositifs de sécurité doivent être mis en place dans les installations portuaires pour prévenir les risques d'accidents. Une réglementation standardisée existe aux Etats-Unis. A l'échelle internationale, les normes et procédures retenues par l'OMI ont été très récemment édictées.

Figure 27. Les risques liés à la manutention du GNL lors d'un soutage

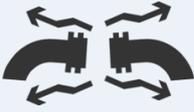
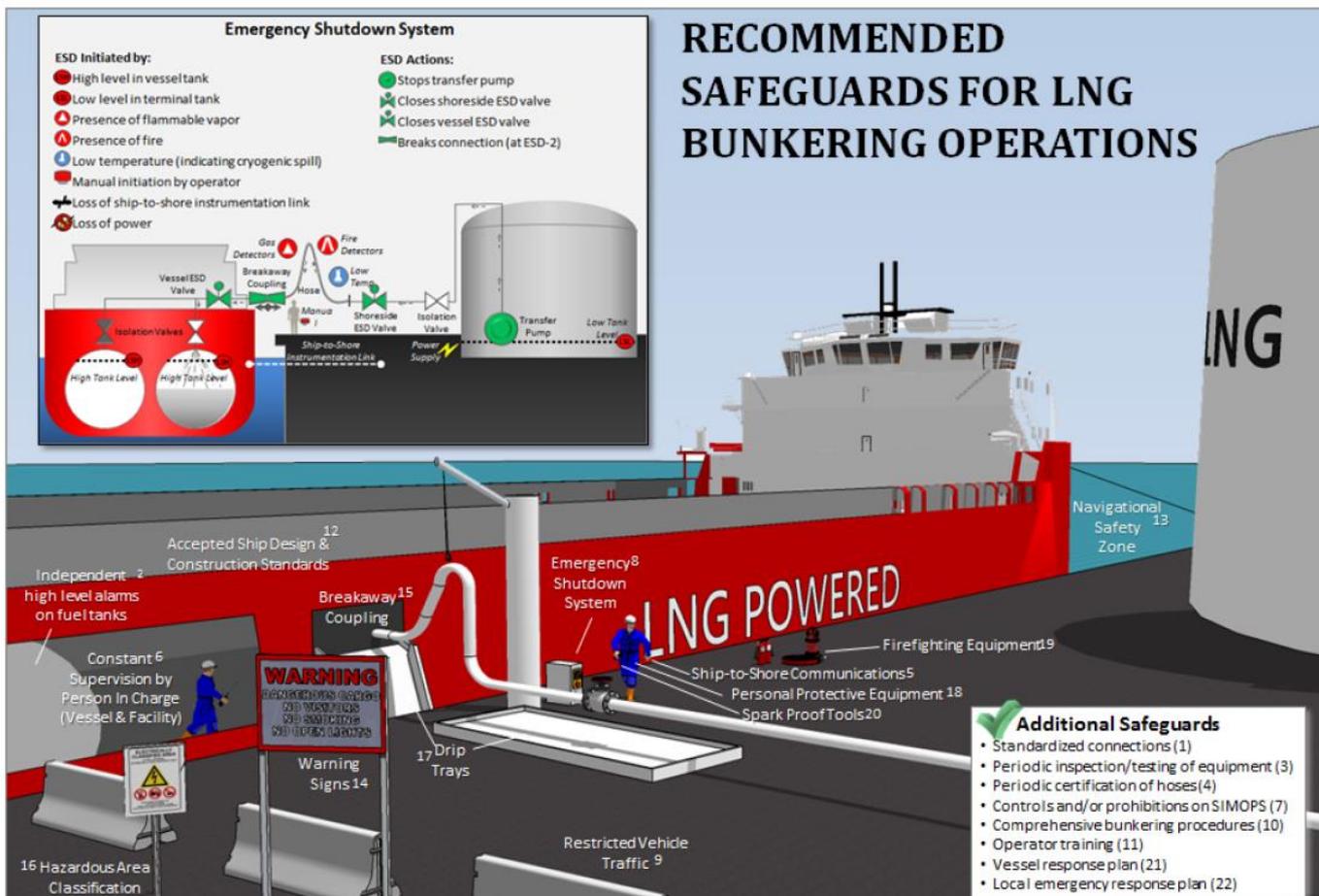
Initiating Events	Common Causes
<p>Leaks from LNG pumps, pipes, hoses, or tanks</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Corrosion/erosion Fatigue failure Hose failure Improper maintenance Piping not cooled down prior to transfer Seal failure Use of inappropriate hoses (e.g., not LNG rated) Vibration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

Figure 28. Les points sensibles en termes de sécurité lors d'un soutage portuaire



Cadre juridique, actions, adaptations et risques associés à l'utilisation du GNL comme carburant marin

Évolution du cadre juridique international et européen

Alors que pour le transport routier un arsenal juridique environnemental visant à atteindre les objectifs de prévention de la pollution de l'air est aujourd'hui déjà très complet, tant au niveau international, européen que national, ce n'est pas encore le cas pour le transport maritime. Si dans le domaine du transport routier les réglementations suivent plus ou moins de près les avancées technologiques, dans le domaine du transport maritime, les écarts entre progrès technologique et règles applicables sont bien plus importants.

Ces écarts sont particulièrement visibles lorsqu'il s'agit de la question de l'utilisation du GNL comme carburant marin : si les avancées technologiques permettraient aujourd'hui de mettre en place une filière GNL, il y a encore des vides juridiques et des ajustements de réglementations à faire surtout au niveau national.

Le tableau 1 ci-dessous montre les évolutions du cadre juridique international (en bleu) et européen (en vert) depuis 1993 et des objectifs prévus par le législateur pour réduire les émissions de polluants atmosphériques par les navires, notamment à travers l'utilisation du GNL comme carburant marin.

Tableau 1 : Évolution du cadre juridique international et européen et objectifs prévus par le législateur

Date	Cadre juridique international et européen	Objectifs prévus par le législateur
1993	Directive 93/12/CEE concernant la teneur en soufre de certains combustibles liquides	Réduire la teneur en soufre du gas-oil utilisé pour la propulsion de véhicules, y compris des aéronefs et des bateaux, du gas-oil de chauffage et des gas-oils à usage industriel et maritime. Prévenir la pollution de l'atmosphère par les navires à travers la diminution des émissions :
1997	Protocole qui intègre l'annexe VI « Règles relatives à la prévention de la pollution de l'atmosphère par les navires » dans la convention pour la prévention de la pollution par les navires « MARPOL 1973/1978 »	- de NOx par le biais de l'amélioration de la conception technique du moteur (règle 13) et de la qualité du combustible lui-même (règle 18) - de SOx par le biais de l'introduction d'une teneur en soufre maximale dans les combustibles marins de 4,5 % (règle 14) et par le biais de la désignation des zones de contrôle des émissions de SOx (SECA Sulphur Emission Control Areas ou zones de contrôle des émissions de SOx : ZCES) dans lesquelles la teneur maximale en soufre des combustibles marins utilisés est de 1,5 %. La Mer Baltique est actuellement la seule zone définie comme SECA dans l'Annexe VI (règle 14). - de VOCs (composés organiques volatiles) par le biais de contrôle dans le port qui doit s'assurer que les moyens de récupération sont disponibles (règle 15).

		Les règles de l'annexe VI visent la réduction des émissions de navires aussi à travers la possession par les navires d'un Certificat International de Prévention de la Pollution de l'Air (IAPPC International Air Pollution Prevention Certificate) confirmant le respect des exigences de l'Annexe VI.
1999	Directive 1999/32/CE concernant une réduction de la teneur en soufre de certains combustibles liquides modifiant la directive 93/12/CEE	Limiter les émissions de soufre issues de la combustion des fiouls lourds, des fiouls de soute, des gas-oils à usage maritime, et des gas-oils pour « diminuer ainsi les effets néfastes de ces émissions sur l'homme et l'environnement » (article 1).
2002	Communication « Une stratégie de l'Union européenne pour réduire les émissions atmosphériques des navires »	Engager l'UE « dans une démarche progressive de transition énergétique du maritime par une régulation de plus en plus contraignante des émissions de polluants atmosphériques par les navires » (DGITM, 2016, p. 10).
2005	Directive 2005/33/CE concernant la teneur en soufre des combustibles marins	Modifier la Directive 1999/32/CE pour renforcer la protection de l'homme et de l'environnement « par la pollution provenant des navires qui utilisent des combustibles à forte teneur en soufre » notamment « dans les zones côtières et à proximité des ports » (article 5) et en prenant aussi en compte la qualité « des combustibles marins utilisés par les bateaux de navigation intérieure et par les navires à quai dans les ports » (article 4 ter).
2008	Résolution de l'OMI modifiant l'annexe VI du protocole de 1997 de la convention MARPOL 73/78	Rendre plus strictes les limites de teneur en soufre des combustibles marins à l'intérieur des ZCES (1,00 % à partir du 1er juillet 2010 et 0,10 % à compter du 1er janvier 2015), ainsi que dans les zones maritimes ne faisant pas partie des ZCES (3,50 % à partir du 1er janvier 2012 et, en principe, 0,50 % à compter du 1er janvier 2020).
2010	Décision 2010/769/UE du 13/12/10 établissant des critères pour l'utilisation, par les transporteurs de GNL, de méthodes techniques en remplacement de l'utilisation de combustibles marins à faible teneur en soufre	Permettre aux transporteurs de GNL d'utiliser une technologie de réduction des émissions employant un mélange de combustibles marins et de gaz d'évaporation afin de générer des émissions de soufre inférieures ou égales à 0,1 % en masse.
		Modifier encore la directive 1999/32/CE :
		- pour l'aligner sur les limites de teneur en soufre prévus par l'annexe VI révisée en 2012 de la convention MARPOL cette directive impose un rejet maximum de soufre par les navires de 0,1 % en ZCES/SECA à partir du 1/01/2015, puis de 0,5 % pour le reste des eaux européennes du 1/01/2020 ;
2012	Directive 2012/33/CE concernant la teneur en soufre des combustibles marins	- pour renforcer les mesures de prévention des émissions dégagées par le transport maritime que « auraient bientôt dépassé les émissions générées par l'ensemble des sources terrestres » par le biais d'un régime plus strict de surveillance et de contrôle de l'application de ladite directive ; - pour encourager l'utilisation de méthodes de réduction des émissions tels que l'utilisation du GNL comme carburant marin tant pour les bateaux de navigation intérieure que pour les navires de mer dans les ZCES.
2014	Directive 2014/94/UE sur le déploiement d'une infrastructure pour carburants alternatifs	Mettre en place de points de ravitaillement en GNL dans les ports maritimes (au plus tard le 31/12/2025) et intérieurs (au plus tard le 31/12/2030) pour permettre la circulation des bateaux de navigation

intérieure ou des navires de mer propulsés au GNL sur l'ensemble du réseau central du RTE-T.

Ces points de ravitaillement en GNL pour les bateaux de navigation intérieure et les navires de mer - qui comprennent notamment des terminaux GNL, des cuves, des réservoirs mobiles, ainsi que des bateaux et des barges de soutage – doivent être coordonné de manière adéquate avec la mise en œuvre du réseau central du RTE-T qui prévoit aussi des points de ravitaillement en GNL pour véhicules à moteur.

Réduire les émissions de CO₂ du transport maritime à l'échelle de l'Union à travers la mise en place d'un système de surveillance, de déclaration et de vérification (système MRV) des émissions de CO₂ qui se produisent :

2015 Règlement 2015/757/UE concernant la surveillance, la déclaration et la vérification des émissions de dioxyde de carbone du secteur du transport maritime

- pendant tous les voyages à l'intérieur de l'Union, tous les voyages à destination de l'UE, entre le dernier port situé en dehors de l'UE et le premier port d'escale situé dans l'UE, et tous les voyages entre un port situé dans l'UE et le premier port d'escale en dehors de l'UE,

- dans les ports de l'Union, y compris les émissions des navires à quai ou manœuvrant dans un port.

2015 Règlement 2015/8052/UE modifiant la règlement 2013/347/UE en ce qui concerne la liste des projets d'intérêt commun (PIC) pour l'Union

Favoriser le développement des infrastructures énergétiques transeuropéennes et les réseaux énergétiques à travers des PIC

2015 Code IGF (Code of Safety for Ships using Gases or other Low flashpoint Fuels) adopté par le comité de la sécurité maritime (MSC 95) – 3 de l'OMI le 12 juin 2015

Ce code est applicable aux navires propulsés au GNL afin de créer des conditions harmonisées d'exploitation des navires propulsés au GNL.

2016 Résolution de l'OMI sur la réduction des émissions de soufre dans le transport maritime

Réduire à 0,5% du plafond mondial de la teneur en soufre des carburants pour les navires navigants hors zone ZCES à compter du 1er janvier 2020.

2016 Les lignes directrices de l'ISO (International Organization for Standardization) sur l'utilisation du GNL

Encadrer les systèmes et installations pour la fourniture de GNL comme carburant pour les navires. En complément de ces lignes directrices, l'ISO travaille actuellement à l'élaboration d'une norme (ISO 20519) qui définira les exigences internationales applicables aux équipements et systèmes de transfert de GNL utilisés pour le soutage de navires fonctionnant au GNL, qui ne sont pas couverts par le code IGC (norme internationale de l'OMI relative à la construction et à l'équipement des navires transportant du GNL). Cette future norme traitera notamment des équipements de transfert, des procédures opérationnelles et des formations destinées au personnel.

2016 Directive 2016/802/UE concernant une réduction de la teneur en soufre de certains combustibles liquides

Réduire les émissions de dioxyde de soufre résultant de la combustion de certains types de combustibles liquides et de diminuer ainsi les effets néfastes de ces émissions sur l'homme et l'environnement.

2016 Communication (COM (2016) 49) : « Une stratégie de l'UE en matière de GNL et de stockage de gaz »

Valoriser les potentialités du GNL et du stockage du gaz pour améliorer la diversification des sources énergétiques en Europe.

On constate qu'au niveau international, les préoccupations sur la contribution du transport maritime aux émissions mondiales de GES (Savy, 2010) ne trouvent une formalisation législative qu'en 1997 avec l'ajout à la Convention internationale pour la prévention de la pollution par les navires (MARPOL 73/78)¹ d'un Protocole qui introduit dans la convention MARPOL l'annexe VI qui contient des « règles relatives à la prévention de la pollution de l'atmosphère par les navires »². Sans sacrifier la croissance du commerce international (SAVY, 2010), le principal objectif de cette annexe est de proposer à la communauté maritime internationale des actions permettant de réduire les émissions de polluants atmosphériques produites par les navires.

Mais les règles de l'annexe VI ne sont entrées en vigueur que le 19 mai 2005, suite de la ratification de la convention par le Samoa en 2004, permettant ainsi d'atteindre l'exigence de 15 pays représentant au moins 50% du tonnage brut mondial. Or ce n'est qu'avec l'entrée en vigueur de ces règles qu'un navire qui ne les respecterait pas pourrait être sanctionné, détenu dans un port.

Les huit ans passés entre la signature du Protocole contenant l'annexe VI de la convention MARPOL et son entrée en vigueur montrent bien la lenteur du droit international. L'avantage de cette lenteur réside dans le fait de fédérer la majorité des pays autour de règles communs. Parmi les principaux inconvénients, il y a d'une part le retard que les États prennent pour transposer ces règles de droit international dans leur ordre juridique national, et, d'autre part, le fait que ces règles qui sont pensées au moment de la signature deviennent vite obsolètes et partiellement inadaptées à la réalité et aux besoins du transport maritime. C'est ainsi qu'en 2008, l'Organisation Maritime Internationale (OMI) qui joue un rôle-clé dans l'évolution du cadre juridique international, a modifié l'annexe VI de la convention MARPOL avec une résolution visant à rendre plus strictes les limites de teneur en soufre des combustibles marins (voir tableau 1) : dans les zones maritimes ne faisant pas partie des ZCES, la limite de la teneur en soufre est fixée à 3,50% car la limite de 4,5% de soufre initialement prévues par le protocole de 1997 était désormais considérée insuffisante pour répondre aux besoins internationaux de réduction des émissions par les navires ; à l'intérieur des ZCES (*zones de contrôle des émissions de soufre*) au lieu de 1,5% . Toujours selon ce qui était prévu par le protocole de 1997, la limite a été baissée à 1%. Même si le cadre juridique international ne cesse d'évoluer comme le montre la récente résolution de l'OMI de 2016 qui vise à baisser ultérieurement ces limites de 0,5% à l'horizon 2020, son évolution est trop lente.

Dans le tableau 1, on constate qu'au niveau européen, l'acte juridique pionnier en matière de lutte contre la pollution atmosphérique par les navires est la directive 93/12/CEE concernant la teneur en soufre de certains combustibles liquides. Comme pour le droit international, l'objectif du législateur européen est de limiter la teneur en soufre des combustibles et de renforcer au fur et à mesure des années cette contrainte. C'est ainsi que cette directive de 1993 sera successivement modifiée par les directives suivantes :

- directive 1999/32/CE concernant une réduction de la teneur en soufre de certains combustibles liquides ;

¹ La convention internationale pour la prévention de la pollution par les navires, signée à Londres le 2/11/1973, complétée par le protocole du 17/02/1978, met en place des règles de lutte contre la pollution du milieu marin (convention MARPOL 73/78).

² Le protocole de 1997 modifiant la convention MARPOL 73/78 est signé à Londres le 26 septembre 1997. Parmi les parties contractantes du protocole de 1997 figurent 25 États membres de l'UE.

- directive 2005/33/CE concernant la teneur en soufre des combustibles marins ;
- directive 2012/33/CE concernant la teneur en soufre des combustibles marins ;
- directive 2016/802/UE concernant une réduction de la teneur en soufre de certains combustibles liquides.

Cette succession de directives montre non seulement la volonté du législateur européen de s'aligner sur les limites de la teneur en soufre comme fixés par le législateur international³, mais aussi la volonté de l'UE de renforcer sa stratégie pour réduire les émissions atmosphériques des navires. Cette volonté se formalise en 2002 à travers la communication d'une stratégie dont l'objectif est d'engager l'UE « *dans une démarche progressive de transition énergétique du maritime par une régulation de plus en plus contraignante des émissions de polluants atmosphériques par les navires* » (DGITM, 2016, p. 10).

Il est important de souligner que cette stratégie apparaît un an après le Livre Blanc 2001 « La politique européenne des transports à l'horizon 2010 : l'heure des choix », qui restait assez peu explicite sur les émissions des navires. Il accordait alors plus d'importance aux externalités négatives du mode de transport terrestre dans le but de réduire la congestion de routes et d'améliorer la sécurité de l'infrastructure routière, et du mode de transport aérien dans la réduction des émissions et des bruits générés par les avions. Ce n'est donc qu'en 2002, avec la publication de cette stratégie spécifique au transport maritime, que l'UE se mobilise pour engager des actions visant à réguler et à réduire les émissions de polluants atmosphériques émis par les navires et en promouvant l'utilisation du GNL comme carburant marin.

Cela montre que la politique environnementale de l'UE en matière de transport maritime se dissocie de la politique environnementale applicable aux transports terrestre et aérien, et que, d'autre part, cette dissociation aurait l'avantage de faire rapprocher davantage la stratégie de l'UE de celle de l'OMI. Et cela même si l'UE en tant que telle ne fait pas partie de la convention MARPOL.

Or, si la tendance du droit international est celle de bâtir les bases d'un cadre juridique à travers un nombre limité de règles tout en restant relativement large puisqu'il est surtout question de prévention de la pollution de l'air par les navires, celle du droit européen est plutôt de bâtir des bases à travers une stratification des règles qui visent à renforcer l'objectif principal de la réduction des émissions par les navires en y associant la possibilité de mener des actions spécifiques par le biais de solutions alternatives parmi lesquelles apparaît l'option de l'utilisation du GNL comme carburant marin.

On constate donc que si le législateur international fait évoluer le cadre juridique international dans une optique de prévention de la pollution de l'air par les navires, le législateur européen fait évoluer le cadre juridique européen dans une optique de lutte contre les émissions dans le but de les réduire en proposant des stratégies auxquelles les États membres sont censés adhérer. C'est dans ce sens que nous pouvons citer la Décision de l'UE du 13 décembre 2010 dont l'objectif est de « *permettre aux transporteurs de GNL d'utiliser une technologie de réduction des émissions employant un mélange de combustibles marins et de gaz d'évaporation afin de générer des émissions de soufre inférieures ou égales à 0,1% en masse* » (Décision 2010/769/UE) ; la directive 2012/33/CE introduit officiellement la possibilité d'utiliser le GNL comme carburant marin pour les navires de mer et les bateaux de navigation intérieure. Elle représente un tournant pour l'utilisation du GNL comme carburant marin

³ C'est avec la Directive 2012/33/CE que le législateur européen s'aligne sur les limites de teneur en soufre prévus par l'annexe VI de la convention MARPOL comme révisée en 2012 par la résolution de l'OMI.

pour les bateaux de navigation intérieure et pour les navires de mer, tant dans les ZCES qu'ailleurs. L'UE renforce encore sa volonté de concrétiser cette stratégie par le biais de la Directive 2014/94/UE sur le déploiement d'une infrastructure pour carburants alternatifs, dont le GNL comme carburant marin, pour permettre la navigation en mer et intérieure (fluviale) sur l'ensemble du Réseau Transeuropéen de Transport (RTE-T) au plus tard le 31/12/2025.

La publication en 2015 du Règlement 2015/757/UE concernant la surveillance, la déclaration et la vérification des émissions de dioxyde de carbone du secteur du transport maritime et du Règlement 2015/8052/UE en ce qui concerne la liste des projets d'intérêt commun (PIC) pour l'Union, montrent que l'UE s'adresse à ses États membres de manière de plus en plus directe, car à la différence d'une directive qui nécessite d'un acte juridique national de transposition à l'intérieur de chaque État membre, un règlement est immédiatement applicable tel qu'il est dans l'ordre juridique d'un État membre.

Enfin, le pari de l'UE sur l'utilisation du GNL comme carburant marin est confirmé par la « Stratégie de l'UE en matière de GNL et de stockage de gaz » apparue dans la récente communication de 2016. On constate que l'UE, désormais alignée sur le droit international, n'hésite pas à renforcer un arsenal juridique en faveur de l'utilisation du GNL à travers des actions ciblées.

Typologie des actions proposées par le législateur et champs d'application

Le tableau ci-dessous (Tableau 2) propose une typologie des actions issues du cadre juridique international et européen pour regrouper de manière transversale les options qui sont proposées par le législateur. Pour la réalisation de ce tableau, nous avons fait le choix de ne pas nous détacher de l'objectif général de la réduction des émissions des navires, pour montrer non seulement comment l'option de l'utilisation du GNL comme carburant marin s'inscrit dans les différents types d'actions et d'options proposées par le législateur international et européen, mais aussi la complexité du cadre juridique dans lequel l'option de l'utilisation du GNL comme carburant marin s'inscrit.

Tableau 2 : Typologie des actions et des options possibles en fonction des dispositions juridiques internationales et européennes applicables

Action	Option	Référence normative internationale et européenne
Technique	Améliorer la conception technique des moteurs des navires	Annexe VI MARPOL intégrée en 1997
	Améliorer la qualité du combustible lui-même	
	Permettre aux transporteurs de GNL d'utiliser une technologie de réduction des émissions employant un mélange de combustibles marins et de gaz d'évaporation	Décision 2010/769/UE

	Permettre le mélange de combustible et de gaz naturel liquéfié (GNL)	Directive 2012/33/CE
	Installer de moteurs à gaz sur les navires	Directive 2014/94/UE
	Systèmes embarqués d'épuration des gaz d'échappement	Directive 2016/802/UE
	Utilisation de biocarburants	
		Annexe VI MARPOL intégré en 1997
		Résolution de 2008 de l'OMI modifiant l'annexe VI MARPOL
		Résolution de 2016 de l'OMI sur la réduction des émissions de soufre
Opérationnelle/ Coercitive	Limiter la teneur en soufre maximale dans le combustible marin pour les navires de mer et pour les bateaux de navigation intérieure	Directive 93/12/CEE Directive 1999/32/CE Directive 2005/33/CE Directive 2012/33/CE Directive 2016/802/UE
Spatiale	Désigner des zones de contrôle des émissions de SOx (ZCES) dans lesquelles	Annexe VI MARPOL intégrée en 1997
	Limiter davantage la teneur en soufre maximale dans le combustible marin dans les ZCES	Directive 2012/33/CE Directive 2016/802/UE
Monitorage (contrôle/surveillance)	Effectuer des contrôles par l'État du Port sur les émissions de navires dans le port	
	Rendre obligatoire pour le navire le Certificat International de Prévention de la Pollution de l'Air (IAPPC) confirmant le respect des exigences de l'Annexe VI de la MARPOL	Annexe VI MARPOL intégré en 1997
	Instaurer un régime plus strict de surveillance et de contrôle de l'application des règles de prévention	Directive 2012/33/CE Directive 2016/802/UE
	Mettre en place d'un système de surveillance, de déclaration et de vérification (système MRV) des émissions de CO2 qui se produisent avec le transport maritime dans l'UE	Règlement 2015/757/UE
	Mettre en place des équipements permettant la récupération des composés organiques volatiles	Annexe VI MARPOL intégrée en 1997

		des navires à quai et l'élimination des déchets provenant des systèmes d'épuration des gaz d'échappement	Directive 2012/33/CE
Organisationnelle (équipement infrastructure)	et	Mettre en place de points de ravitaillement en GNL dans les ports maritimes et intérieurs (Ces points de ravitaillement comprennent notamment des terminaux GNL, des cuves, des réservoirs mobiles, ainsi que des bateaux et des barges de soutage)	Directive 2014/94/UE
Financière/mécanismes de marché	de	Prévoir des dispositifs d'aide financier pour favoriser l'utilisation du GNL comme carburant marin	Directive 2012/33/CE Directive 2014/94/UE
		Favoriser le développement des infrastructures énergétiques transeuropéennes et les réseaux énergétiques à travers des projets d'intérêt commun (PIC)	Règlement 2015/8052/UE
		Engager l'UE « dans une démarche progressive de transition énergétique du maritime par une régulation de plus en plus contraignante des émissions de polluants atmosphériques par les navires	Communication de 2002 de l'UE
Stratégique		Conformer les dispositions européennes aux dispositions internationales de la MARPOL	Directive 2012/33/CE
		Valoriser les potentialités du GNL et du stockage du gaz pour améliorer la diversification des sources énergétiques en Europe.	Communication de 2016 de l'UE
		Coopérer au niveau des régions portuaires.	
		Essayer des nouvelles méthodes de réduction des émissions	Directive 2016/802/UE

Action technique

On constate que le législateur international propose des options génériques telles que l'amélioration de la conception technique des moteurs des navires et de la qualité du combustible lui-même, tandis que le législateur européen oriente davantage les options proposées pour mettre l'accent sur l'utilisation du GNL comme carburant marin, ainsi que sur l'installation de moteurs à gaz sur les navires.

On peut remarquer que si d'autres options permettant la réduction des émissions des navires, telles que la mise en place de systèmes embarqués d'épuration des gaz d'échappement et l'utilisation de biocarburants, ne sont pas exclues, elles ne sont pas privilégiées. En effet, malgré cette variété de techniques possibles à déployer, nous estimons que l'utilisation du GNL comme carburant marin est une option technique prioritaire pour l'UE au point d'en devenir une stratégie dont le but est celui de

la constitution d'une filière du GNL dans les ports de l'UE. Comment alors expliquer cette priorisation que l'UE semble faire sur l'utilisation du GNL ? Est-ce le fait que le GNL représente une marchandise transportée par voie maritime ? Cela peut en effet jouer dans le choix de l'UE, car il s'agirait de tirer le bénéfice de réduction des émissions d'une activité déjà existante, comme le montre la Décision 2010/769/UE permettant aux transporteurs maritime de GNL d'utiliser une technologie de réduction des émissions employant un mélange de combustibles marins et de gaz d'évaporation issu de leur cargaison.

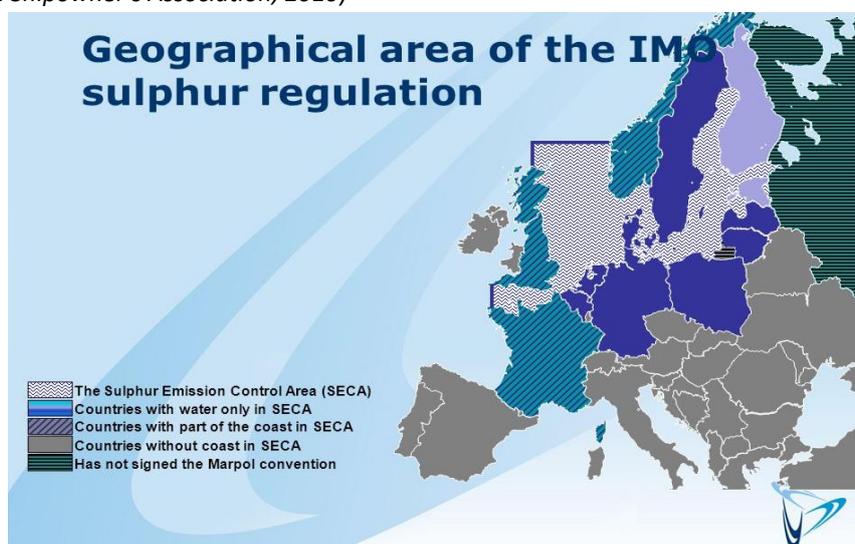
Action opérationnelle/coercitive

Tant au niveau international qu'eupéen cette action concerne l'exploitation opérationnelle du navire. L'option de limiter la teneur en soufre maximale dans le combustible marin pour les navires de mer et pour les bateaux de navigation intérieure a dans ce cas un caractère coercitif, puisqu'elle fixe la contrainte du respect d'un pourcentage lié à la quantité maximale de teneur en soufre du combustible utilisé.

Action territorialisée

C'est tout d'abord au niveau international que l'action est engagée avec la création de zones de contrôle des émissions de SOx (ZCES). Cette logique de partition de l'espace maritime n'est pas une nouveauté au niveau international. Au contraire elle tend à se renforcer afin de prendre en compte la spécificité des espaces marins particulièrement sensibles, tel que les mers semi-fermée comme la Baltique par exemple. L'UE s'aligne sur cette logique d'organisation spatiale de l'espace maritime, et comme le législateur international renforce cette action en y association la fixation de la limite de la teneur maximale en soufre des combustibles marins, c'est-à-dire que dans les ZCES la limite de la teneur en soufre est plus stricte que hors ZCES. La carte ci-dessous (Fig.29) illustre les ZCES dans les eaux européennes.

Figure 29. Zone de contrôle des émissions de soufre (ZCES) dans les eaux européennes (source : Olaf Widen – Finnish Shipowner's Association, 2010)



La carte fait apparaître que les zones de contrôle des émissions de soufre qui existent dans les eaux européennes sont : la Mer Baltique, la Mer du Nord, et la Manche. Dans ces zones le législateur international et européen fixe un rejet maximum de soufre par les navires de 0,1 % en ZCES/SECA à partir du 1/01/2015, puis de 0,5 % pour le reste des eaux européennes du 1/01/2020. Dans un avenir proche il pourrait y avoir d'autres zones, telles que des zones dans l'Ouest de l'UE et la Méditerranée pour en citer quelques-unes.

Action de monitoring (contrôle/surveillance)

Nous le savons, une des difficultés de l'annexe VI de la convention internationale MARPOL est que sa mise en œuvre dépend de la volonté des États signataires. Sans cette volonté, la communauté internationale n'est pas en mesure d'imposer ni le respect, ni le contrôle des règles contenue dans l'annexe VI. Pour pallier cette faiblesse du droit international, le législateur a lui-même prévu dans l'annexe VI de la MARPOL des règles qui visent à encourager la mise en place d'actions de monitoring. Elles visent par exemple à responsabiliser l'État du Port pour qu'il effectue des contrôles sur les émissions de navires dans le port, ou encore à rendre obligatoire le Certificat International de Prévention de la Pollution de l'Air (IAPPC) pour le navire, confirmant le respect des exigences de l'Annexe VI de la MARPOL par l'État du Pavillon.

Au niveau de l'UE le législateur pour pallier les faiblesses des directives qui ne sont pas immédiatement applicables dans l'ordre juridique interne, propose le Règlement de 2015 en faveur d'une approche fondée sur la surveillance, la déclaration et la vérification (système MRV) des émissions de CO₂ qui se produisent avec le transport maritime dans l'UE. Ce système initié à l'échelle de l'Europe serait la première étape vers la constitution d'un système de surveillance des émissions par les navires à l'échelle mondiale.

Vérifier la mise en œuvre des règles et leur respect est une action qu'apparaît prioritaire pour l'UE d'où sa volonté d'encourager les États membres à instaurer un régime plus strict de surveillance et de contrôle de l'application des règles de prévention des émissions des navires.

Action organisationnelle (équipement et infrastructure)

Si le législateur international reste large sur la question de la prévention de la pollution de l'air par les navires en proposant par exemple que les ports soient équipés d'installations permettant la récupération des composés organiques volatiles des navires à quai et l'élimination des déchets provenant des systèmes d'épuration des gaz d'échappement, le législateur européen concentre son attention sur la mise en place d'équipements et d'infrastructures permettant la constitution d'une filière GNL.

De points de ravitaillement en GNL – qui comprennent notamment des terminaux GNL, des cuves, des réservoirs mobiles, ainsi que des bateaux et des barges de soutage – doivent être prévus dans les ports maritimes (au plus tard le 31/12/2025) et dans les ports intérieurs (au plus tard le 31/12/2030) pour permettre la circulation des bateaux de navigation intérieure ou des navires de mer propulsés au GNL sur l'ensemble du réseau central du RTE-T. L'action organisationnelle de l'UE s'appuie sur une logique de réseau qui vise à connecter le réseau maritime au réseau terrestre, puisque comme prévu dans la

directive 2014/94/UE, ces points de ravitaillement en GNL doivent être coordonnés de manière adéquate avec la mise en œuvre du réseau central du RTE-T qui prévoit aussi des points de ravitaillement en GNL pour les véhicules à moteur terrestres.

Action financière/mécanismes de marché

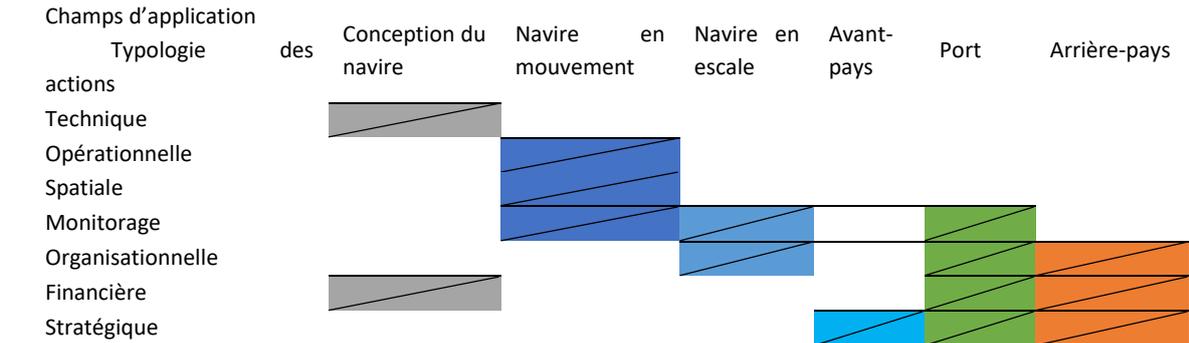
Comme le montre le tableau 2, seule l’UE englobe dans son cadre juridique une action qui inclut des mécanismes financiers visant à favoriser l’utilisation du GNL comme carburant marin et le développement des infrastructures énergétiques transeuropéennes et des réseaux énergétiques à travers des projets d’intérêt commun (PIC). A la différence du législateur international, elle s’appuie sur les mécanismes de marché pour soutenir financièrement les opérateurs portuaires et maritimes dans la mise en place d’une filière GNL. Ainsi, l’UE fait évoluer son cadre juridique de manière à accompagner la réalisation concrète de projets GNL.

Action stratégique

Avec ce type d’action, on voit l’engagement de l’UE à court, moyen et long terme dans la constitution d’une filière européenne du GNL. Les ports de commerce avec leurs équipements et infrastructures sont au centre de cette démarche progressive de transition énergétique du maritime. L’UE milite à court terme pour la valorisation des potentialités du GNL et du stockage du gaz pour améliorer la diversification des sources énergétiques en Europe, sans toutefois exclure plus à moyen et long terme l’essai de nouvelles méthodes de réduction des émissions (biocarburants, etc.).

Il est enfin intéressant de souligner que, pour corroborer son action stratégique, l’UE s’appuie sur des arguments qui visent à lier l’activité du transport maritime à la qualité de vie des population riveraines. Dans les textes il est en effet question du lien qui existe entre la réduction de la teneur en soufre des combustibles et la santé humaine, ou encore de l’importance de diminuer les effets néfastes de ces émissions sur l’homme et l’environnement littoral, de zones côtières, de ports ainsi que de villes portuaires où le trafic des navires de passagers est particulièrement présent et présente donc de sérieux dangers pour la santé des populations riveraines. Autant d’arguments qui permettent de réfléchir sur le lien que le droit instaure avec l’espace concerné par ce cadre juridique applicable. C’est ainsi que le Tableau 3 propose une répartition des champs d’application du cadre juridique analysé en fonction de la typologie des actions proposées dans le Tableau 2.

Tableau 3 : Champs d’application des actions prévues par le législateur en faveur de l’utilisation du GNL comme carburant marin



Le tableau permet de constater que pour favoriser l'utilisation du GNL marin, il est nécessaire de prendre en compte diverses dimensions :

- tout d'abord *le navire* depuis sa conception jusqu'à son exploitation, c'est-à-dire lorsque le navire est en mouvement et en escale ;
- *l'avant-pays* dans une logique de coopérations avec les ports limitrophes, par exemple dans une région ou sous-région portuaire ;
- *le port* en tant que lieu d'accueil des navires, mais aussi en tant que lieu de stockage et d'approvisionnement du GNL ;
- *l'arrière-pays* dans une logique de réseau de distribution du GNL aussi terrestre.

La nécessité d'adaptations du cadre juridique national à tous les niveaux de la chaîne d'approvisionnement en GNL.

L'impulsion de l'intégration des règles internationales et européennes dans les stratégies nationales de développement du transport avec les objectifs de réduction des gaz à effet de serre et d'amélioration de la qualité de l'air conduit à envisager l'utilisation du GNL comme carburant marin non plus seulement comme une question politique pour les ports de commerce français, mais aussi - voire surtout comme une question juridique.

Si le cadre juridique international et européen se montre favorable à l'utilisation du GNL comme carburant marin, le SWOT (Tab. 4) ci-dessous fait apparaître que le manque de réglementation nationale constitue aujourd'hui une menace à la mise en place d'une filière GNL dans les espaces portuaires.

Tableau 4. Analyse SWOT appliquée à l'utilisation du GNL comme carburant marin

A. Arteconi, F. Polonara / Energy Policy 62 (2013) 503-512

<p>STRENGTHS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Environmental benefits • Mature technologies and market • Availability of industrial partners 	<p>WEAKNESSES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lack of infrastructures • Supply sources unavailability • Price competitiveness
<p>OPPORTUNITIES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Incentives and taxes reduction • ECA introduction in the marine sector 	<p>THREATS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lack of national regulations on LNG

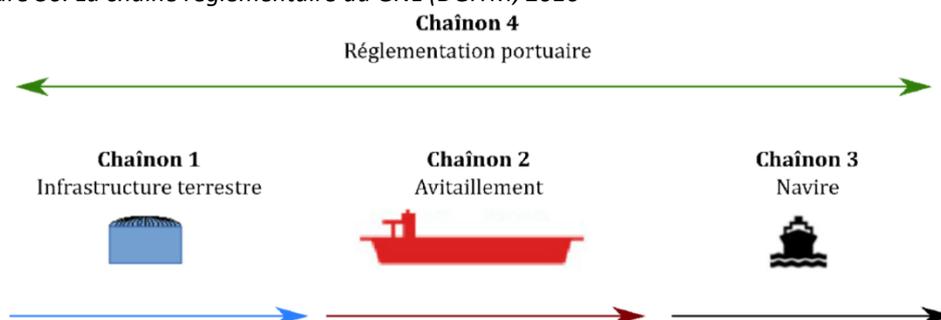
En effet, la constitution d'une filière GNL comme carburant marin met en jeu un grand nombre de règles et de mesures juridiques au niveau national : sont-elles existantes et cohérentes ? Répondent-elles aux besoins des opérateurs de la filière GNL et des territoires portuaires ? Dans quelle mesure peuvent-elles être une contrainte et un outil d'accompagnement favorable à la mise en place de cette stratégie ?

Si un arsenal juridique national, de plus en plus complexe, existe déjà pour encadrer la majorité des activités portuaires et maritimes (et cela en lien avec un renforcement de la prise en compte de l'environnement dans le développement portuaire), ce n'est pas encore le cas pour le nouveau domaine de l'utilisation du GNL comme carburant marin. Beaucoup de règles et de mesures juridiques restent en effet encore à bâtir et à harmoniser.

En 2016, une stratégie spécifique à l'utilisation du GNL comme carburant marin a été développée au niveau français : cela à travers le « *Schéma national d'orientation pour le déploiement du gaz naturel liquéfié comme carburant* » (Direction générale des infrastructures, des transports, et de la mer, 2016). Cette stratégie découle de la Loi sur la transition énergétique pour une croissance verte du 17 août 2015. Avec cette loi le grand pas de l'abandon du fioul lourd (HFO) comme carburant traditionnel au profit de l'utilisation du GNL dans le transport maritime est désormais franchi. Cette loi reconnaît les priorités de l'UE, c'est-à-dire la nécessité du développement des infrastructures dédiées aux nouveaux carburants dans lesquels le GNL aurait une place non seulement comme carburant marin mais aussi comme carburant fluvial et routier.

C'est face au vide juridique et aux zones grises du cadre juridique applicable à la filière GNL dans l'espace portuaire que tous les opérateurs de la filière se posent la question de « l'adaptation du cadre réglementaire pour l'émergence d'une filière GNL sûre » (Direction générale des infrastructures, des transports, et de la mer, 2016, p. 19). La chaîne réglementaire du GNL peut se résumer avec le schéma suivant (DGITM, 2016, p. 19) (Fig.30).

Figure 30. La chaîne réglementaire du GNL (DGITM, 2016)



De ce schéma, découlent quatre besoins juridiques nationaux qui concernent respectivement la définition des conditions réglementaires applicables à :

L'exploitation de l'infrastructure GNL à terre

Il s'agit dans ce cas de préciser le cadre réglementaire applicable aux installations terrestres de bunkering qui couvrent les installations de stockage de GNL, les aires de stationnement de citernes routières, les canalisations et les postes fixes d'avitaillement des navires dans le but de garantir un haut niveau de sécurité ainsi que la conformité de ces installations à la réglementation nationale.

La gestion de l'interface terre/navire lors des opérations d'avitaillement en GNL

Sans conditions d'avitaillement des navires en GNL clairement bâties, le développement de ce nouveau carburant ne peut pas devenir opérationnel. Pour des exigences de rentabilité, il est indispensable de pouvoir approvisionner les navires en combustible pendant que ceux-ci effectuent leurs opérations commerciales : « cette configuration d'avitaillement est particulièrement importante en ce qui concerne le transport maritime à courte distance, qui en fait un moyen de réduction des temps d'escales et des coûts de carburant. » (DGITM, 2016, p. 20). Alors qu'au niveau international et européen, le travail du législateur va dans le sens d'un cadre juridique harmonisé d'avitaillement des navires au GNL, reste cruciale la question de la fixation de règles au niveau national et local tenant compte des circonstances particulières de chaque port pour y adapter les conditions d'approvisionnement des navires.

L'adoption du code IGF (*Code of Safety for Ships using Gases or other Low flashpoint Fuels*)

Le code IGF est applicable aux navires propulsés au GNL afin de créer des conditions harmonisées d'exploitation des navires propulsés au GNL. L'entrée en vigueur en 2017 du code IGF permet aux sociétés de classification d'établir leurs réglementations techniques.

La gestion du port de manière transversale

Puisque les opérations GNL se concentrent dans le domaine portuaire et donc sous la compétence d'un Port dont le fonctionnement doit aussi s'adapter aux circonstances locales, « le port intervient dans la problématique réglementaire de manière transversale. Sa réglementation couvre en effet l'ensemble des opérations d'avitaillement qui s'effectuent sur son domaine et donc sous sa compétence. » (DGITM, 2016, p. 22).

A l'égard des vides juridiques à combler et des ajustements réglementaires à apporter au niveau national et local selon les ports, une réflexion sur les risques associés à l'évolution du cadre juridique en faveur de l'utilisation du GNL comme carburant marin s'avère nécessaire.

Les risques associés à l'évolution du cadre juridique en faveur de l'utilisation du GNL comme carburant marin

Les incertitudes du cadre juridique apparaissent comme des contraintes qui risquent de freiner la mise en œuvre de règles applicables et donc la mise en place opérationnelle d'une filière GNL.

Apparaît d'abord un risque de fragmentation du cadre juridique applicable auquel les opérateurs portuaires sont confrontés. En particulier en ce qui concerne les conditions de navigation, d'avitaillement et d'implantation des infrastructures terrestres nécessaires à la constitution d'une filière GNL marin. Face aux allers-retours entre les niveaux juridiques (international, européen, national et local), une démarche d'harmonisation s'avère nécessaire à tous les maillons de la chaîne

règlementaire. Un socle commun de règles doit donc émerger, même s'il ne se substituera pas aux réglementations locales, mais en permettra un encadrement efficace (D., 2016, p. 20).

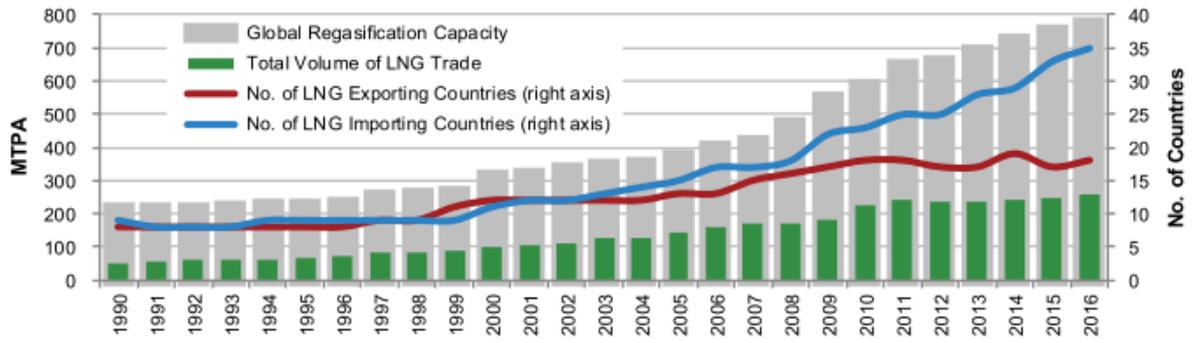
Demander l'amélioration de la qualité des combustibles implique une hausse de prix avec le risque de transfert modal du transport maritime vers le transport routier pour le *short sea shipping* : d'où la nécessité que l'UE propose des mesures appropriées pour contrer une telle évolution qui pourrait mettre en péril la compétitivité des secteurs concernés dans les pays limitrophes des zones de contrôle des émissions de SOx. En effet, comme explicité dans la récente Directive 2016/802/UE « *il convient que les méthodes de substitution déjà connues, telles que l'utilisation de systèmes embarqués d'épuration des gaz d'échappement ou le mélange de combustible et de gaz naturel liquéfié, ou l'utilisation de biocarburants, soient reconnues dans l'Union. Il importe de promouvoir l'expérimentation et la mise au point de nouvelles méthodes de réduction des émissions afin, entre autres, de limiter le transfert modal du transport maritime au transport routier* ». Le risque de ne pas être compétitif dans le marché GNL, surtout par rapport aux pays voisins hors UE, est donc une réalité à laquelle s'associe le risque d'une concurrence déloyale si l'UE ne veille pas à une démarche d'harmonisation des réglementations entre États-membres.

L'aperçu des risques associés à l'utilisation du GNL comme carburant marin montre bien que le cadre juridique qui en découle contribue fortement à influencer les projets, les pratiques et les stratégies des acteurs portuaires en Europe.

Le GNL carburant marin, une très lente diffusion

Sous sa forme liquide, le gaz naturel a connu un développement continu dans les échanges internationaux (Fig.31 et 32). La flotte mondiale pour son transport a accompagné cette croissance multipliant le nombre de pays (Fig. 31) et d'installations en mesure de traiter le GNL. Concernant, l'usage du GNL comme carburant, l'évolution a été nettement moins forte. Les changements technologiques dans le transport maritime sont en effet particulièrement lents du fait d'un amortissement très lent des navires (Merk, 2008). Il aura ainsi fallu ainsi plus de 100 ans pour passer de la voile à la vapeur et une trentaine d'années pour que le charbon cède sa place au fuel, solution d'abord prioritairement engagée pour la flotte militaire au début du 20^{ème} siècle. Le changement qui s'opère avec le GNL représente une rupture technologique sans doute moins forte mais suppose une évolution incrémentale dont les prémices tardent encore à s'affirmer.

Figure 31. L'évolution des échanges internationaux de GNL (1990 – 2016)



Source: IHS Markit, IEA, IGU

Figure 32. Les grandes routes maritimes du transport de GNL (2016)

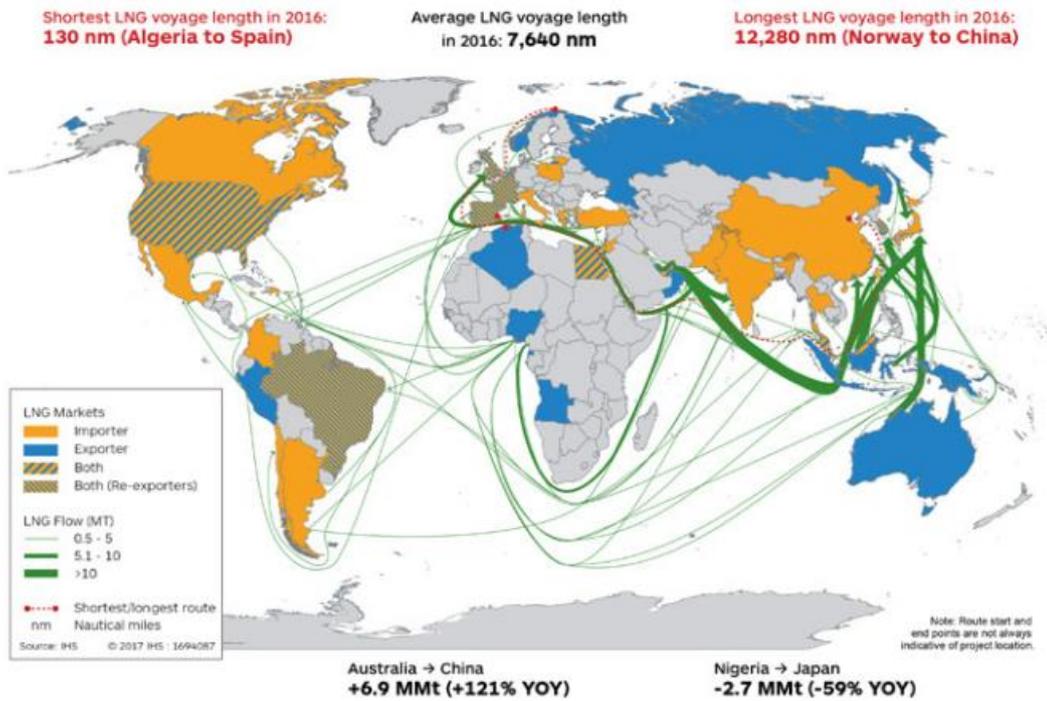
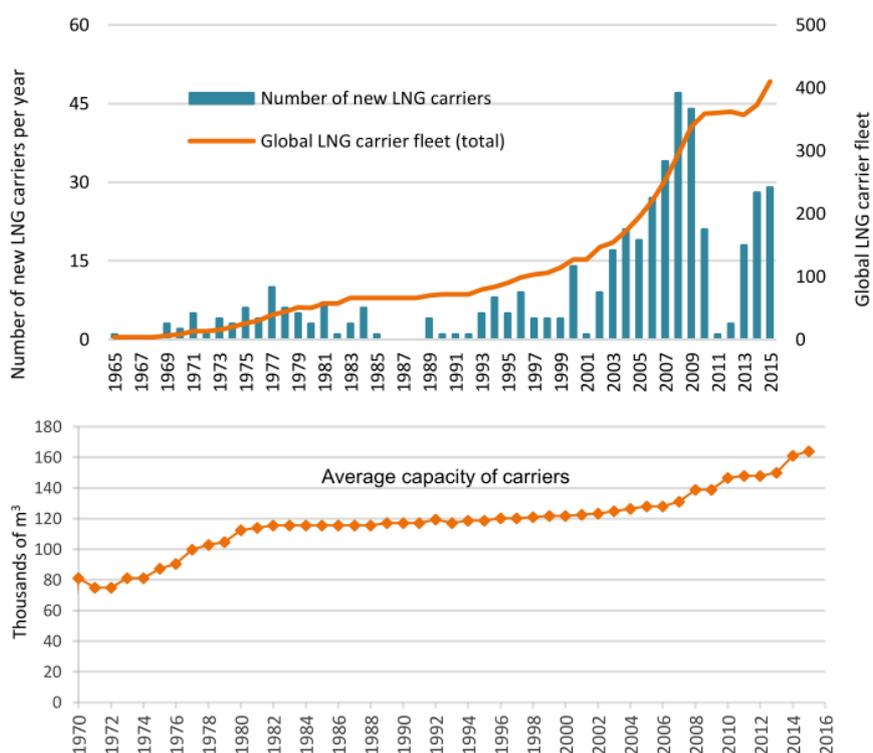


Figure 33. Evolution de la flotte mondiale de méthaniers (2016)



Source : IGU - WORLD LNG REPORT (2016)

Trois familles de variables influencent plus directement l'adoption du GNL auprès des armateurs : les éléments d'exploitation, la dynamique du marché et l'encadrement réglementaire, dont Olaf Merk (2018) propose dans son étude les variables décisives (Tab. 5).

Tableau 5. Variables influençant l'adoption du GNL comme carburant marin (Merk, 2018)

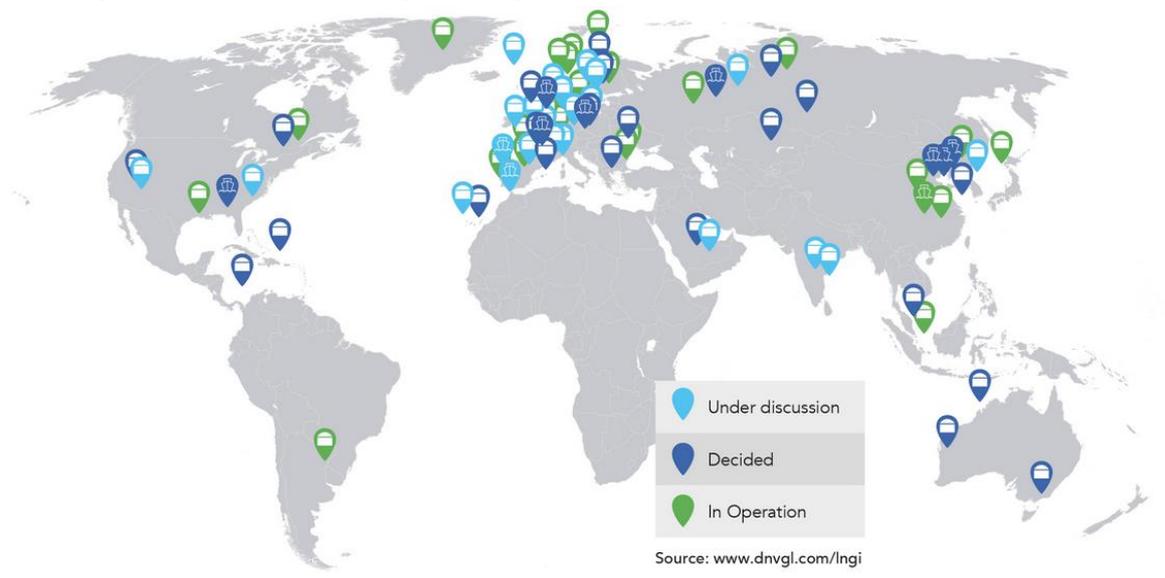
Operational drivers or supply side factors	Technology push	<ul style="list-style-type: none"> • Technological and management capabilities • Collaboration with research institutes, agencies and universities • Access to external information and knowledge • Size
	Cost-saving	<ul style="list-style-type: none"> • Material prices • Energy prices
Market drivers or demand side factors	Market pull	<ul style="list-style-type: none"> • Market share • Market demand for green products
Regulatory drivers or environmental policy influences	Regulatory pull/push	<ul style="list-style-type: none"> • Existing regulation • Expected future regulation • Access to existing subsidies and fiscal incentives

Source: Aronietis et al. (2016) based on Erzurumlu and Erzurumlu (2013), Triguero, Moreno-Mondéjar and Davia (2013) and Horbach (2008)

Dans une incertitude technologique, les avis d'experts sont cependant contrastés. Il faut notamment arriver à distinguer le lobbying des industriels du secteur du gaz qui ont un intérêt évident à développer le marché et sont très actifs dans le domaine. Les Etats sont aussi réceptifs à l'option GNL, même si leurs engagements restent contrastés dans une mise en œuvre effective. La plupart ont défini des schémas d'équipement, qui attendent désormais l'engouement des armateurs. Certains pays se sont

activement lancés dans le soutien à la réalisation d'équipements et proposent des aides sélectives aux opérateurs du secteur, d'abord concentrées sur les marchés captifs et les services réguliers que sont les ferries. Enfin, les autorités portuaires sont également des interlocuteurs de choix, et disposent d'études de faisabilité à la fois pour promouvoir une fonction qui peut déjà être une réalité ou pour rester dans la course au cas où cette technique serait plus largement diffusée. Le GNL est bien conçu comme un facteur d'attractivité qui pourrait s'avérer décisif.

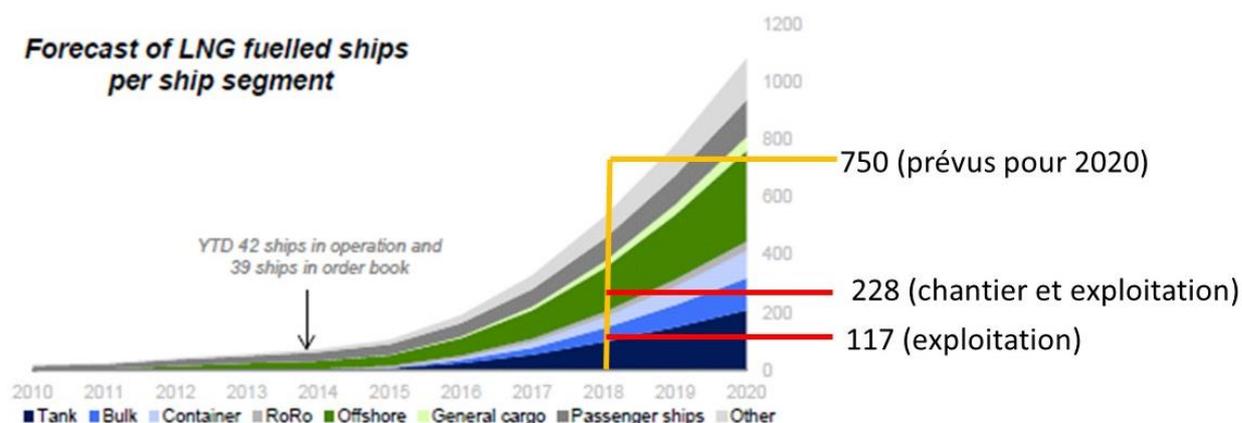
Figure 34. Terminaux LNG actifs ou planifiés dans le monde



L'estimation de la flotte mondiale propulsé GNL et son évolution

La société classification norvégienne DNV GL a dû à plusieurs reprises revoir à la baisse ses estimations quant à ses prévisions de navires propulsés au GNL. EN 2012, elle annonçait 1000 unités à l'horizon 2020, en 2015 ce chiffre était tombé dans une fourchette entre 400 et 600 navires à l'échelle mondiale. En 2017, le nombre effectif était de 117 navires GNL en service, essentiellement en Europe du Nord. A cela peuvent, il faut ajouter 114 navires adaptables au GNL (*GNL-ready*). Ce nombre s'élève à 170 navires GNL en 2019 pour 184 unités en construction, à quoi il faut ajouter 141 'LNG-ready' ships.

Figure 35. Projection de l'évolution de la flotte mondiale GNL (DNV_Shipping, 2012)
http://www.GNLbunkering.org/sites/default/files/2012_DNV_Shipping%202020%20-%20final%20report.pdf



Le graphique reproduit ci-dessous (Fig. 34) est issu d'un travail de recherche de la revue américaine *Maritime Executive*. Elle illustre bien le décalage entre les estimations et les chiffres réellement observés (Tab.6). Aujourd'hui, les navires propulsés au GNL représentent à peine 0,2% de la flotte mondiale.

Figure 36. Projection à long terme de la flotte mondiale de navires propulsés au GNL (Merk, 2018)

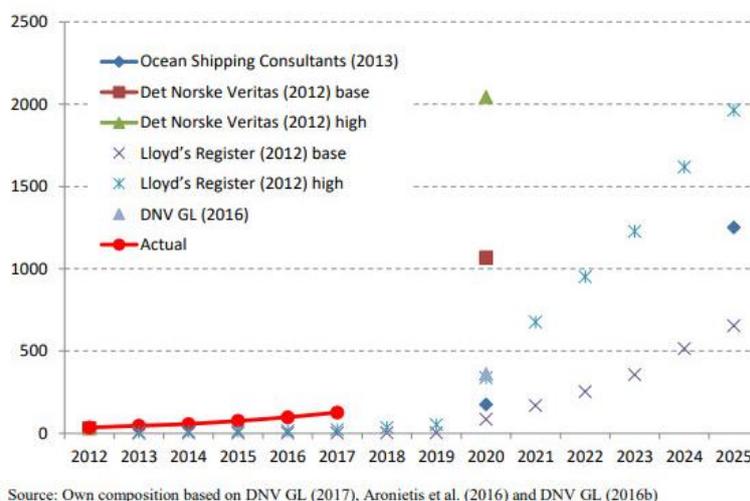
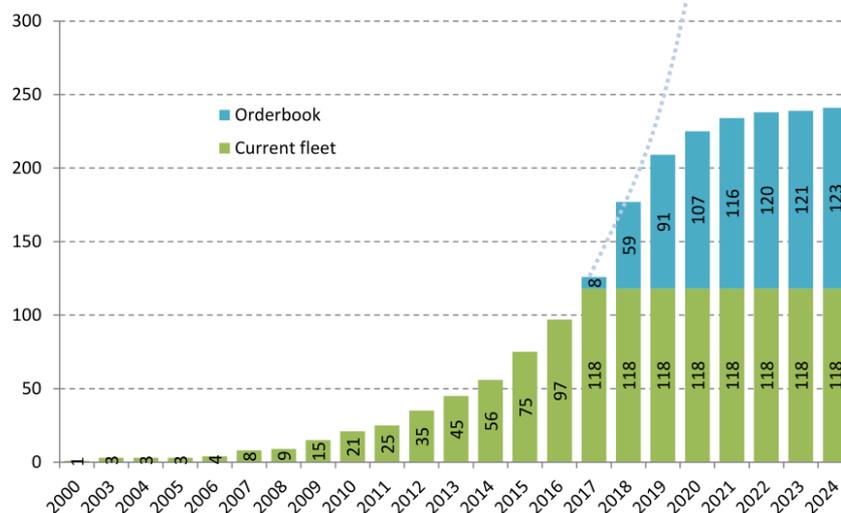


Tableau 6. Prévion du nombre de nouveaux navires propulsés au GNL (DNV-GL)

Research organization	Period	Percentage of the replacement from heavy oil to LNG
THE BOSTON CONSULTING GROUP	2025	5 ~ 27%
Lloyd's Register	2030	11%
DNV-GL	2025	6 ~ 11%
iHS	2030	8%

- DNV-GL obtained the percentage considering the heat difference between LNG and heavy oil based on the global annual amount of heavy oil bunkering set as 240 million tons.

Figure 37. Estimation de l'évolution de la flotte mondiale propulsée au GNL (Merk, 2018)

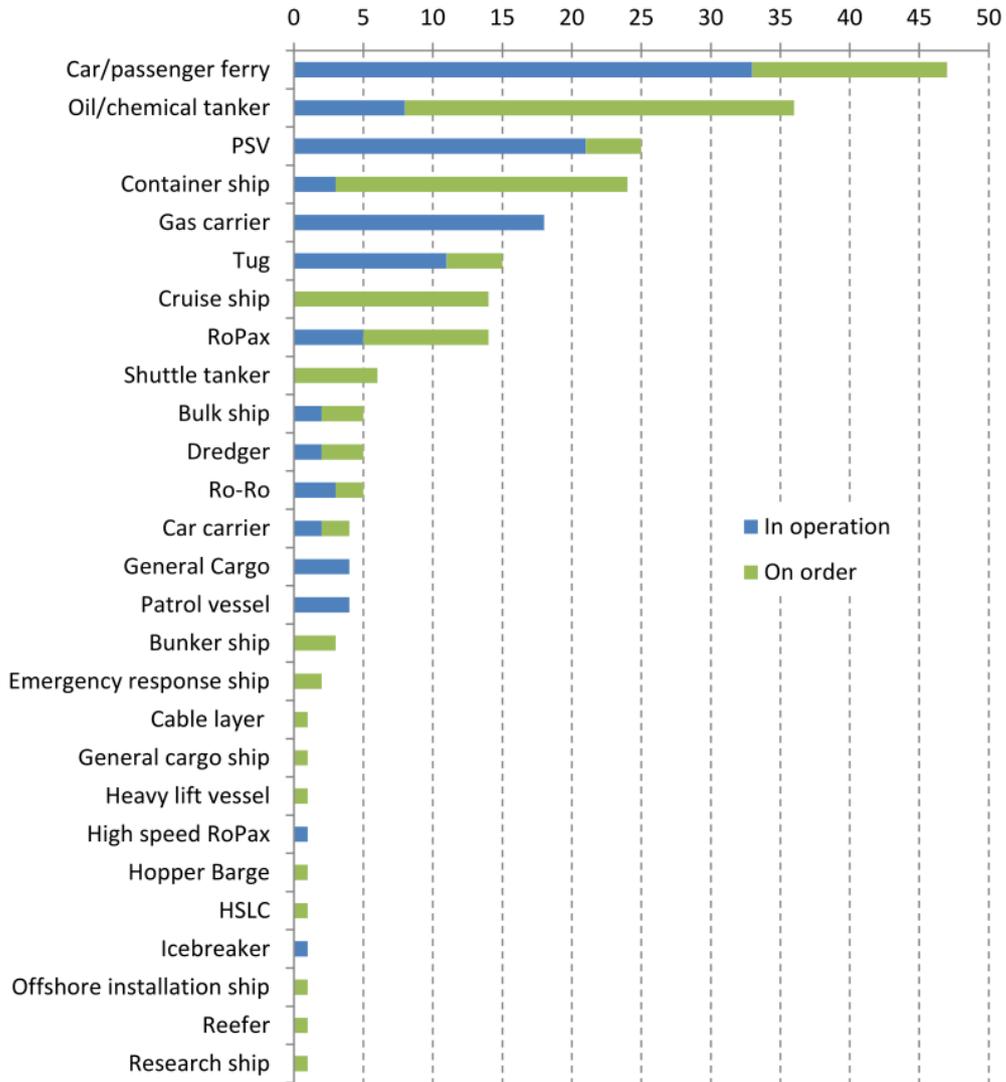


Source: Data from DNV GL (2017), on 01.12.2017

L'essentiel de la flotte GNL est composé de ferries, notamment en Baltique et Mer du Nord, ainsi que les méthaniers qui utilisent le gaz naturel et sa gazéification spontanée durant le transport comme carburant. Il est probable que les grands paquebots de croisière seront parmi les premiers à se convertir à cette énergie dans la prochaine décennie. Les enjeux sont multiples, aussi bien le confort des passagers (moins de vibration et moins de fumées), les exigences des ports d'accueil pour limiter la pollution liée aux particules fines, et globalement l'image d'une activité plus respectueuse de l'environnement qui, sans cette conversion, ternirait définitivement son image auprès d'une large clientèle.

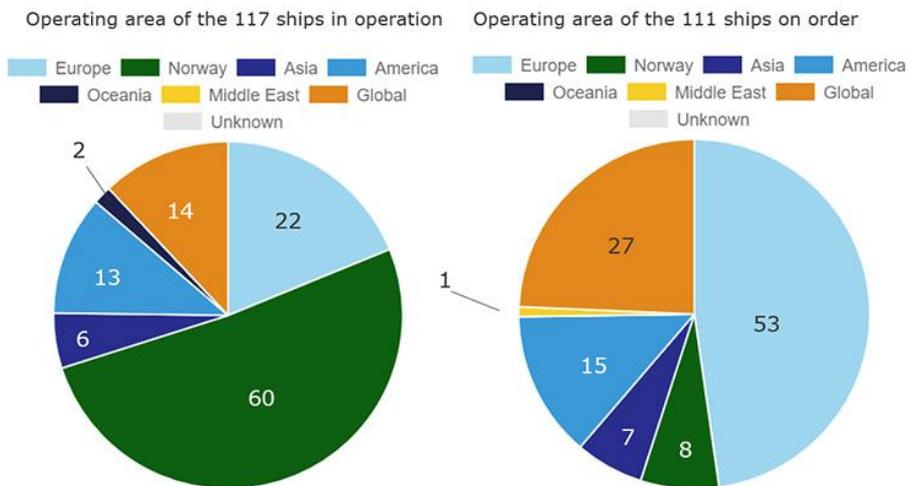
Parmi les grands acteurs mondiaux, la CMA-CGM est le premier armement pour le transport de conteneurs qui s'est résolument lancé dans un changement vers le GNL avec l'annonce de la commande en 2017 de 9 porte-conteneurs de plus de 22 000 EVP, à un rythme d'un navire tous les quatre mois. « Équipés de réservoirs de 18.000 m³, ces navires pourront faire une rotation complète entre l'Europe du Nord et la Chine sans avitaillements intermédiaires. " (*L'Antenne* du 8/11/2017). A titre informatif, il faut préciser que les cuves GNL occupent l'espace équivalent à l'emport de 1500 EVP. Ce choix s'inscrit dans la continuité d'une politique de réduction de GES qui a déjà permis à l'opérateur maritime français de réduire le rejet de CO₂ de 50% entre 2005 et 2015 avec un objectif de réduction de 30% supplémentaires d'ici 2025.

Figure 38. Types de navire mus au GNL – en opération et en commande (Merk, 2018)



Source: Data from DNV GL (2017), on 01.12.2017

Figure 39. Répartition géographique des navires GNL opérationnels en 2017 (DNV GL , 2018)



Source : DNV GL (<https://store.veracity.com/da10a663-a409-4764-be66-e7a55401275a>)

L'équipement des ports pour le soutage GNL

Vers un système de soutage plus décentralisé

Le soutage de fioul lourds pour les navires se concentre sur quelques grands hubs mondiaux autour de Singapour (48,6 M de tonnes métriques), Fujairah (24 M de tonnes métriques), Rotterdam (de tonnes métriques), Hong-Kong (7.4 de tonnes métriques) et Anvers (6.5 de tonnes métriques) selon les données www.shipandbunker.com pour des valeurs de 2015 et 2016 (Rotterdam et Singapour). En revanche, le GNL occupe plus d'espace pour un potentiel énergétique comparable. Il exige donc des soutages plus fréquents et un nombre plus important de ports équipés en mesure d'assurer les opérations.

L'*International Association of Port and Harbours* (IPAH) encourage vivement les ports dans l'investissement dans les installations de soutage. Les conditions de développement de cette technologie se sont nettement améliorées avec 60 sites disponibles à travers le monde, 28 sites additionnels ont été décidés et au moins 36 sont en discussion.

Figure 40. Répartition géographique des terminaux proposant un soutage GNL (Merk,2018)



Figure 41. Routes empruntées par les navires motorisés au GNL

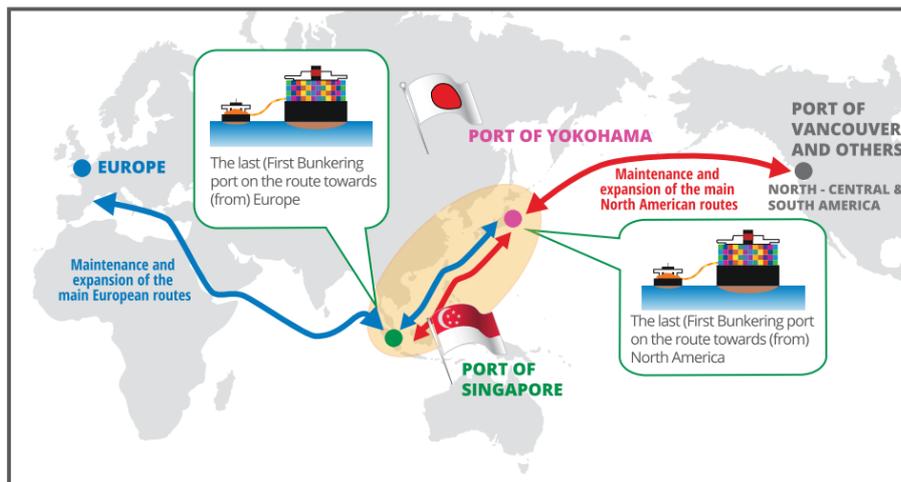


Vers une mise en réseau des ports GNL

D'une logique régionale fondée sur les liaisons maritimes de courtes distances avec des navires de petite taille, l'offre doit désormais se structurer à une échelle mondiale pour des navires plus puissants, conduisant à multiplier les points de ravitaillement potentiels le long des principales routes maritimes et à ajuster la capacité de traitement des terminaux à des besoins plus massifs.

Pour répondre à ce défi, des accords ont été passés entre des ports majeurs sur pôles économiques dominants afin de coordonner les efforts dans la structuration d'une offre globale. Les ports de Yokohama/Nagoya et Singapour se sont ainsi engagés dans une étroite coopération afin de structurer l'offre autour de deux pôles en Asie du nord et du sud. Deux événements ont marqué ce rapprochement : le Sommet Japon-Singapour en 2016 suivi par l'étude « *Japan-Singapore Joint Study on GNL Bunkering* » en 2017 (Fig. 42).

Figure 42. Les alliances Singapour-Yokohama, dans la structuration d'une offre globale GNL



Source: Ministry of Land, Infrastructure and Tourism (Japan). Press Release: Building international cooperation on the development of LNG bunkering hub. October 6, 2016.

Le rapprochement Singapour/Yokohama est appelé à établir les standards dans les équipements, les procédures et la formation des personnels impliqués dans la filière de l’avitaillement GNL. Les deux ports se conçoivent comme des points d’appuis dont les prolongements se ramifient vers l’Europe et l’Amérique. Dans une perspective régionale, l’autorité singapourienne doit compter avec la concurrence de Petronas qui souhaite développer un système national capable d’alimenter le soutage GNL dans divers ports de l’archipel malais et approvisionner des sites de stockage de petite taille (Pengerang, Johor, Sungai Udang, Melak). De son côté, l’autorité portuaire de Singapour soutient la construction d’une unité d’approvisionnement de GNL à hauteur de 2.25M\$.

Principal importateur mondial de gaz naturel pour couvrir ses besoins énergétique (notamment la production électrique), le Japon par l’appui gouvernemental pousse cette telle stratégie. Elle correspond aux grands choix énergétiques du pays engagé dans la transition énergétique, même si malgré l’accident de Fukushima, l’option a été retenue d’un retour raisonné à l’énergie nucléaire. Dans cette perspective, le ministère japonais de l’économie, du commerce et de l’industrie a publié en 2015 un document prospectif “*Long-Term Energy Supply and Demand Outlook*” qui projette le recul progressif des énergies issues du pétrole en faveur du gaz naturel. Toutefois, le Japon qui s’est orienté de longue date vers la GNL avait engagé ses entreprises publiques sur des contrats de long terme qui ont imposé des prix avantageux aux fournisseurs, alors que le marché de l’énergie s’était retourné. Afin d’ajuster l’offre aux prix du marché, la politique gouvernementale pousse vers l’ouverture à la concurrence. Les nouveaux entrants pouvant bousculer les deux groupes parapublics établis en profitant de conditions de marché plus favorables. Encore faut-il que les capacités de stockage sous-utilisées des acteurs dominants soient rendues accessibles aux nouveaux entrants. L’enjeu est ici de permettre au Japon de jouer un rôle de hub à l’échelle asiatique et mieux profiter des cours assez bas du gaz naturel. Le Japon peut tirer parti des 40 terminaux GNL à l’échelle du pays dont les installations sont à adapter pour le soutage GNL.

Reste à résoudre le caractère opérationnel du soutage. Dans le cas de la baie de Tokyo, elle est passée par le regroupement d’acteurs importants dans la construction d’un navire avitailleur LNG qui devrait être mis en service en 2020. Les trois partenaires l’autorité portuaire internationale de Yokohama-Kawasaki et les groupes Sumitomo and Uyeno ont pu compter sur le soutien gouvernemental (www.lngworldnews.com, 11/7/2018). Sur le même modèle d’une joint-venture, Central LNG Shipping

Japan Corporation (CLS) regroupant l'armement Kawasaki Kisen Kaisha (K Line), Chubu Electric Power, Toyota Tsusho Corporation et Nippon Yusen Kabushiki Kaisha (NYK Line). Ces partenaires se sont entendus pour financer et exploiter navire avitailleur dans la région de Chubut (Japon central) (Mai 2018).

Une mise en réseau global autour de Singapour : le *GNL Bunkering port focus group*

Un réseau international de huit ports majeurs équipés pour assurer le soutage GNL a été mis en œuvre. Sous l'appellation « Network of GNL Bunker Ready Ports », la structure a été lancée en 2016 autour de Singapour pour assurer la promotion de pratiques et de standards communs dans le cadre d'un texte commun "*Memorandum of Understanding on Cooperation on the Development of GNL as a Marine Fuel (MoU)*". Le noyau initial lancé en 2014 par Singapour (Maritime and Port Authority of Singapore) avec les autorités portuaires d'Anvers, de Zeebruges, de Rotterdam, de Jacksonville et de la Norvège (notamment le port de base pour les expéditions polaires, Hammerfest) a été élargi en 2016 au Japon (Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism) et à la Corée (Autorité portuaire d'Ulsan) et enfin, en 2017 se sont adjoints au groupe constitué les ports de Ningbo-Zhoushan, le GPM de Marseille-Fos et celui de Vancouver.

Une majorité des grands ports d'avitaillements en fioul lourd sont aujourd'hui en mesure de livrer du GNL, ou à proximité immédiate de terminaux GNL où il s'agit d'organiser la distribution de ce carburant aux navires. Dans ce tableau, les Etats-Unis constituent une exception notable, puisque les équipements concernent surtout les ports du Golfe du Mexique et assez peu les autres façades pourtant plus directement concernées par les grandes routes commerciales.

Parmi les autres ports importants équipé pour l'avitaillement GNL, on peut citer Barcelone : en 2017 avec pour objectif affiché la réduction de la pollution des nombreux paquebots de croisière, Montréal qui offre depuis 2017 un soutage GNL comme Port Fourchon en Louisiane, Panama, la République dominicaine qui se positionne sur le potentiel régional des croisières dans les Caraïbes et une fonction de hub gazier pour les porte-conteneurs.

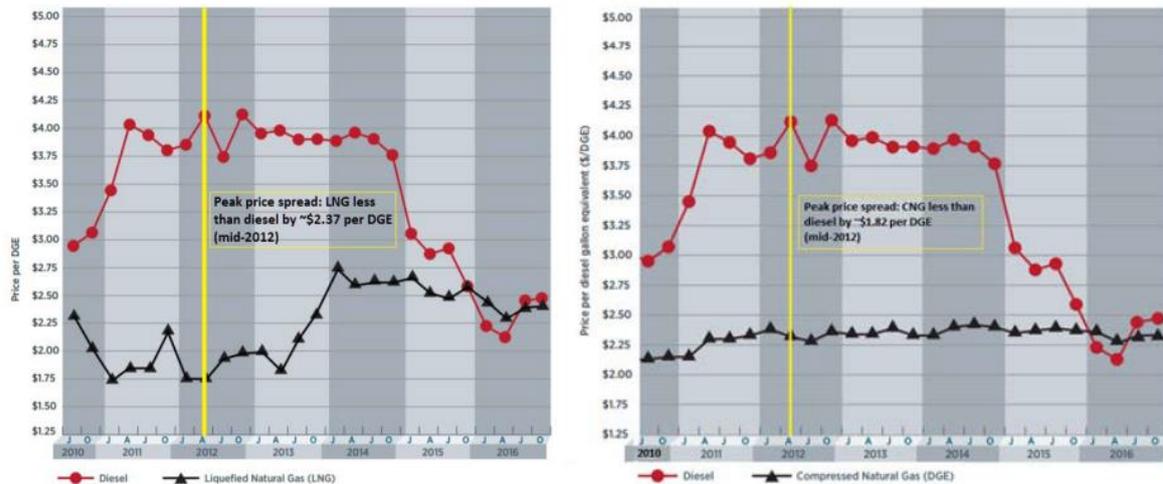
GNL marin : les perspectives nord-américaines

Amérique du Nord : un contexte en apparence favorable au GNL

Le boom dans l'exploitation du gaz de schiste en Amérique du Nord (Etats-Unis et Canada) ou « *Shale Gas Revolution* » laisse supposer que cette énergie bon marché et abondante va de trouver de nouveaux débouchés notamment dans les transports. Les dispositifs législatifs moins contraignants, surtout depuis l'arrivée aux affaires de l'administration Trump ouvre de nouvelles perspectives aux

énergies carbonées en desserrant les dispositifs environnementaux qui en limitaient l'exploitation et/ou la consommation. Le retour des énergies sales (schiste bitumineux, charbon et pétrole) pèse en revanche sur le marché et tirent les prix de l'énergie vers le bas. Si les coûts d'exploitation des gisements de gaz sont très compétitifs, au point que les Etats-Unis sont devenus exportateurs nets avec la mise en place de grandes unités de liquéfaction dans de nouveaux terminaux portuaires dédiés, la baisse des coûts des produits pétroliers (Fig.43) n'incite en revanche guère les constructeurs nationaux à innover dans les techniques et les opérateurs de transport au profit de nouvelles motorisations.

Figure 43. Le resserrement tarifaire du différentiel entre le gaz naturel (GNL et CNC) et le diesel aux Etats-Unis entre 2010 et 2016.



Source: U.S. Department of Energy

GNL et North American Eca

Conjointement avec le Canada et la France (Saint-Pierre et Miquelon), les Etats-Unis ont adopté en 2010, les règles de l'OMI (Marpol Annexe 6) pour l'usage de carburants moins polluants dans leurs eaux côtières. Des mesures similaires ont été prises concernant les unités navigant sur les grands lacs ainsi que pour la navigation fluviale, à travers la *Clean Air Non-Road Diesel Rule* de 2004 qui réduit la teneur en soufre, les émissions de particules et d'oxyde d'azote (Fig 44).

Figure 44. La Zone ECA (Emission Control Area) en Amérique du Nord



Un marché unifié mais peu porteur

Le gaz naturel est très largement accessible sur l'ensemble du territoire américain grâce à un réseau extrêmement dense de gazoducs, irrigant le pays depuis les bassins du Texas et les dépressions pré-appalachiennes. L'usage du gaz, et en particulier du GNL, reste très orienté vers la consommation énergétique fixe (ménages et industrie), particulièrement pour la production d'électricité où elle entre directement en concurrence avec le charbon. De manière marginale, on a recours à la liquéfaction pour stocker le gaz de schiste ou pour réguler les réseaux, ce qui ouvre néanmoins la possibilité d'approvisionnement de cette ressource à l'intérieur des terres.

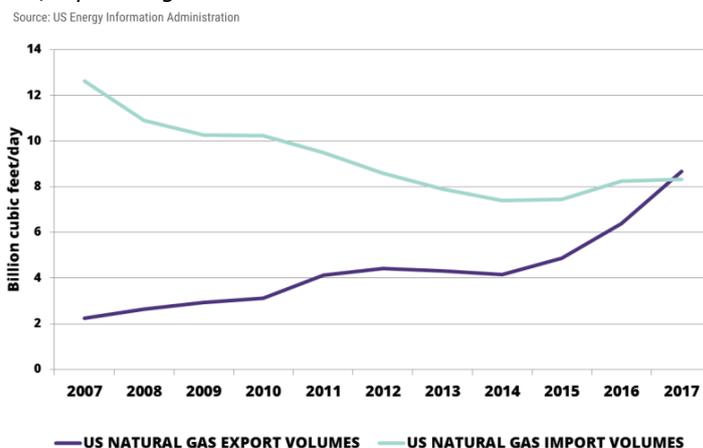
L'immense marché que constituent les Etats-Unis a l'avantage de disposer d'une réglementation unifiée. La promotion de l'usage du gaz naturel dans les transports est le fait des producteurs à travers leur association, *American Gas Association* (AGA) qui regroupe 200 producteurs. Le gouvernement fédéral a doté les grands axes du pays en stations GNL. La liquéfaction du gaz naturel n'a cessé de se renforcer, mais aujourd'hui essentiellement conçu pour l'exportation. D'importants investissements sont consentis dans les terminaux portuaires privés et devrait se prolonger de manière significative au cours des prochaines années. Concentrées dans le golfe du Mexique, ces unités seront néanmoins dans l'impossibilité d'avitailer les grands ports de commerce de la côte Ouest.

Si les Etats-Unis ont établi une zone de protection des eaux territoriales pour réduire les émissions de sulfure, il s'agit d'une bande sublittorale assez étroite, qui risque d'être peu contraignante pour les armements mondiaux. Les efforts de réduction d'émission de polluants locaux dans les grands ports se sont concentrés sur le courant de quai, à l'instar des autorités portuaires de Los Angeles et de Long Beach, précurseurs dans le domaine. Le cabotage littoral et le *short sea shipping* restent marginaux et n'offrent pas le potentiel de mutation de l'Europe du Nord. Le dispositif environnemental apparaît donc comme un levier assez faible de promotion du GNL. C'est donc avant tout vers les modes terrestres, routier et peut-être fluvial que s'oriente aujourd'hui l'offre locale de GNL carburant. Toutefois, les essais pour le mode ferroviaire semblent peu concluants, alors même que les longues lignes de fret non électrifiées semblaient offrir de belles perspectives.

Le Canada, notamment sur la côte Pacifique, offre une configuration plus favorable. La région de Vancouver entend conserver la qualité de son environnement qui en fait la réputation, l'arrière-pays

proche est producteur de gaz naturel et offre des capacités d'export susceptible d'alimenter facilement un réseau de distribution portuaire qui pourrait couvrir les besoins marins de soutage jusqu'en Californie. Les ferries qui offrent un service dense sont susceptibles d'amortir les premiers investissements.

Figure 45. Import/Export du gaz naturel américain



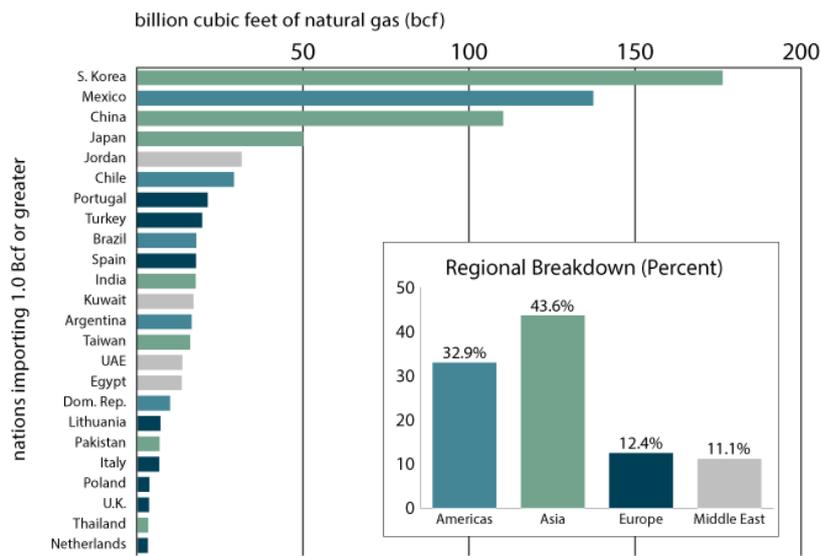
Des réserves de gaz de schiste immenses pour un faible coût de production et de distribution

La ressource en gaz naturel est relativement bien distribuée à travers les Etats-Unis (Fig.45). A côté des bassins sédimentaires nombreux dans le Midwest, deux régions dominent la ressource : le Texas (champs Barnett) et les zones de dépressions pré-appalachiennes (champs Marcellus et Utica) (Fig. 46). Des dizaines de milliers de puits forés pour fracturer la roche sont exploités par de multiples sociétés privées qui, selon le droit américain, sont propriétaires du sous-sol. Les conséquences écologiques sont particulièrement lourdes : outre les effets globaux pour l'émission de GES, ce type d'exploitation produit localement de nombreux microséismes et pollue les nappes phréatiques par la réinjection d'eau chargée de produits chimiques ou radioactifs. L'encadrement réglementaire introduit sous l'administration Obama a été très largement assoupli par son successeur, au nom de l'indépendance énergétique et des retombées économiques en termes de création de richesse et d'emplois. Cet argument a trouvé un écho particulièrement favorable dans les régions productrices de la Pennsylvanie ou l'Ohio fortement touchées par la désindustrialisation. La distribution géographique de la ressource a conduit à développer un maillage dense des gazoducs au sein des régions de production qui sont reliées entre elles par des gazoducs interrégionaux de plus grande capacité.

La multiplication des ports d'export « large scale GNL »

La saturation du marché intérieur américain et l'inversion des flux des pays voisins poussent aujourd'hui les producteurs à chercher de nouveaux marchés à l'export : Corée du Sud, Chine et Japon. Ces courants renversent les flux traditionnels d'importation et de regazéification au profit des installations de liquéfaction dont le nombre devrait doubler en renforçant encore la concentration autour du Golfe du Mexique. Il est ici important de noter que les terminaux GNL sont dissociés des autres types de trafics maritimes et rendent ainsi la complémentarité des trafics pour le soutage moins attractif qu'en Europe.

Figure 46. Les marchés du gaz naturel américain à l'export entre février 2017 et février 2018 (Source GNL Allies, 2018)

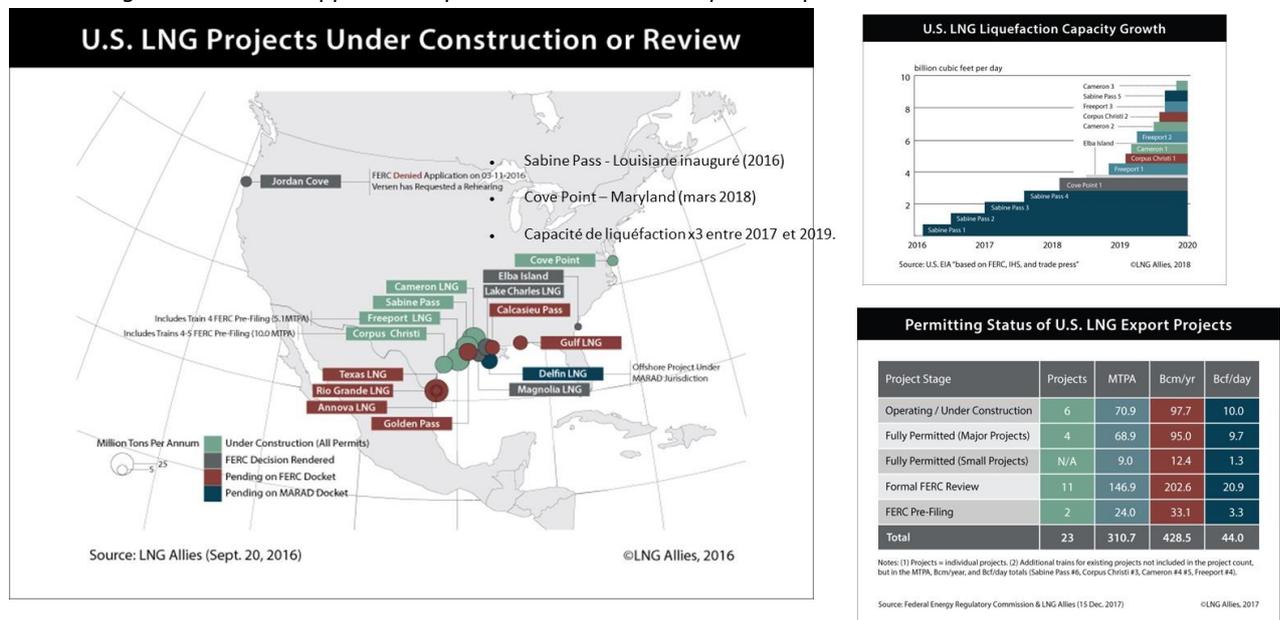


Source: DOE LNG Monthly, April 2018 (data through Feb. 2018)

©LNG Allies, 2018

La plupart des installations sont aux mains de sociétés d'investissement, spécialisées dans le domaine de liquéfaction du gaz naturel et qui comptent exploiter le potentiel que représente l'export.

Figure 47. Le développement rapide des terminaux GNL pour l'export



Un potentiel limité pour les modes terrestres

Le gaz naturel est une énergie bon marché, mais les premiers essais ont montré qu'en grandeur réelle, les performances de cette technique s'est avérée économiquement et techniquement moins intéressante qu'attendue par rapport à des véhicules opérant en circuit fermé ou sur site.

Déception dans le ferroviaire

Les restrictions d'émission de particules vont pousser les opérateurs ferroviaires à un ajustement qui pourrait être favorable au GNL. En effet, l'électrification des lignes essentiellement dédiées au fret n'est pas envisageable car trop coûteuse et écologiquement injustifiée alors que les centrales électriques du pays sont largement alimentées au charbon ou au gaz naturel. Des solutions combinées diesel/gaz ont pu être envisagées pour les motrices, car faciles à mettre en œuvre pour un coût de l'ordre de 2M\$ par locomotive). Les compagnies ont exploré l'option du gaz naturel dès 1935 (Fig.52) mais sans résultats probants. Les locomotives mues au GNL sont moins puissantes et moins autonomes qu'avec le diesel. Ce choix exige en outre de modifier en profondeur le mode d'approvisionnement. Les études récentes menées pour le compte de la BNSF, de l'Union Pacific et de l'Association American Rail Roaders (2007) soulignent les limites de cette technologie. L'intérêt pour le gaz naturel est retombé avec la baisse du prix du pétrole. L'approche financière reste centrale, mais l'intérêt est aussi tributaire de questions techniques, logistique ainsi que de l'adoption des règles de sécurité adaptées pour le stockage du gaz sous sa forme liquide ou comprimée. Des avancées ont néanmoins été obtenues, ainsi, l'administration ferroviaire fédérale (*Federal Railroad Administration*) qui a autorisé l'usage d'une citerne cryogénique de 12 tonnes de GNL sur le réseau de l'Alaska, une première pour les Etats-Unis.

Des avancées décevantes dans le transport routier

C'est surtout le gaz naturel sous sa forme comprimée (GNC) qui est offert à la distribution à travers 939 stations publiques, auxquelles il convient d'ajouter les stations privées. A travers son projet *America's Natural Gas Highway* de 2012, le gouvernement fédéral entendait équiper les grands axes routiers au GNC et dans une moindre mesure au GNL. Le réseau structurant s'articule sur les liaisons nationales reliant Californie – Chicago et le Texas (Fig. 48).

Figure 48. *America Natural Gas Highway* : projet et Figure 50 B. Etat d'avancement et stations services (état 2041).



Certains expressistes se sont montrés plus volontaires dans cette transition dans le transport routier. Ainsi UPS a annoncé en 2017 la commande de 1300 PL GNL, de même qu'il a réservé 125 camions électriques Tesla pour verdir sa flotte. Le groupe anglo-néerlandais Shell entend développer un

maillage national GNL et a fait des acquisitions dans ce sens en 2016. Dans une perspective plus portuaire, certaines activités comme le brouettage ou la manutention sont les premières à avoir adopté le GNL et le CNC. On en dénombre un peu moins d'un millier dans les ports de Los Angeles et Long Beach. Le manque de fiabilité du matériel et la faible puissance des véhicules a conduit à l'abandon progressif des flottes pourtant très largement subventionnées par l'autorités portuaire.

L'échec du Clean Trucks Program : la politique GNL dans les ports de Los Angeles – long Beach⁴

Pour réduire la pollution engendrée par les poids lourds diesel hors d'âge (émettant la moitié des Nox – Tab.7), l'administration portuaire engage un vaste programme de soutien au renouvellement de la flotte des usagers du port. L'accès est réservé aux véhicules qui remplissent les conditions édictées par la loi fédérale sur les émissions standard établie en 2007. A partir de 2010, la mise aux normes des 16 000 PL desservant les ports est engagé pour un total de subvention de 202 M\$ (20 000\$ pour un PL diesel et jusqu'à 142 000 \$ pour un véhicule GNL fortement encouragé par le Port). Avec une dizaine d'années de recul, les attentes des véhicules GNL ont été déçues : manque de puissance, vitesse réduite en charge, nombreuses pannes qui immobilisent jusqu'à un quart des véhicules. En termes de pollution le résultat est probant, mais un véritable désamour des camionneurs pour cette technique s'est imposé (Fig.53), ce que traduisent l'effondrement des prix de l'occasion. Le programme *Clean Trucks* se poursuit et vise une transition vers des PL à 0 émission de GES d'ici 2035.

Tableau 7. Les émissions de polluants dans le port de LA-LB selon les types d'engins

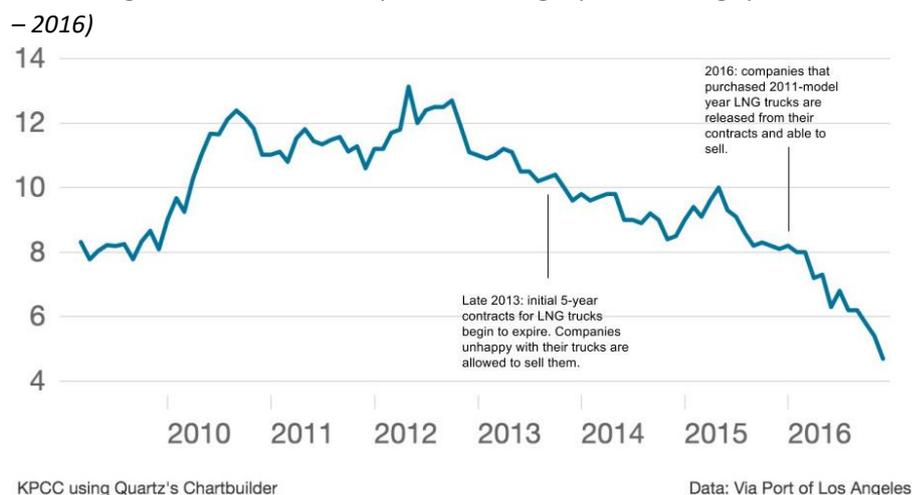
Table ES.2: 2015 Maritime Industry-related Emissions by Category

Category	PM ₁₀ tons	PM _{2.5} tons	DPM tons	NO _x tons	SO _x tons	CO tons	HC tons	CO ₂ e tonnes
Ocean-going vessels	74.7	69.4	59.3	3,779.7	124.6	320.7	146.2	248,431
Harbor craft	30.5	28.1	30.5	825.5	0.7	487.4	80.9	61,013
Cargo handling equipment	9.1	8.5	7.2	557.3	1.8	760.3	84.9	170,710
Locomotives	30.2	27.5	30.2	819.0	0.8	194.3	45.8	68,432
Heavy-duty vehicles	8.3	8.0	7.7	1,895.9	4.2	134.6	36.2	381,737
Total	152.9	141.4	134.9	7,877.3	132.1	1,897.3	394.0	930,324 DB ID#57

Source: Port of Los Angeles 2015 Air Emissions Inventory

⁴ Source : How local ports reduced pollution but lost trust among truck drivers along the way - <https://www.scp.org/news/2017/03/13/69667/how-local-ports-reduced-pollution-but-lost-trust-a/>

Figure 49. Evolution de la part des tonnages prise en charge par PL GNL dans le port de Los Angeles (2009



Un nouveau plan pour les 20 ans à venir, l'effort engagé de réduire les GES : *Clean Air Action Plan* (CAAP) de 2017. Les ambitions du premier plan ont abouti à des résultats très satisfaisants : réduisant depuis 2005 87% des particules diesel, de 56% les Nox, les oxydes de soufre de 97% et les GES de 18%. Les objectifs visés conduisent l'autorité portuaire à relancer la discussion avec les armements pour s'assurer du bien fondé d'un terminal GNL qui fait encore défaut aux ports de la baie de San Pedro (LA et de LB). Le plan CAAP lui-même, s'il évoque tous les leviers d'actions reste très discret sur les moyens à mobiliser, sinon par le vocable de « *Near-zero-emission technologies* ». L'objectif est à atteindre par palier : en 2020 retour au niveau d'émission des GES de 1990, en 2030 se situer à -40% de ce niveau et à -80% à l'horizon 2050. Dans cette perspective le GNL ne peut effectivement n'être que transitoire. Les véhicules électriques qui montent en puissance présentent d'intéressantes opportunités pour les activités terrestres du port.

Le GNL au Canada

Une lecture intégratrice pour la côte ouest du Canada

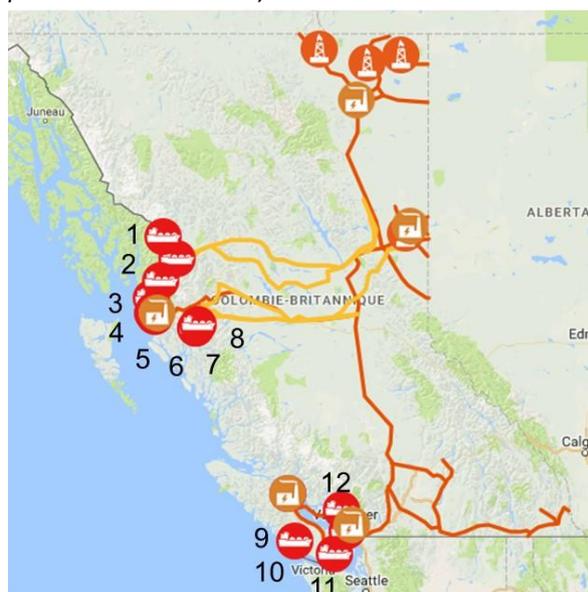
Si le littoral Pacifique des Etats-Unis ne dispose pas de terminal d'exportation de GNL, un approvisionnement à grande échelle est envisageable depuis la Colombie britannique par l'agrandissement du site de liquéfaction de Tilbury au Sud de Vancouver. Une offre de GNL pour les transports s'y est développée à partir de 2009. En 2011, un nouveau terminal a été construit à Mt. Hayes sur l'île de Vancouver, face à la ville.

Un potentiel réel en Colombie britannique

La Colombie britannique dispose de ressources en gaz naturel que les techniques non conventionnelles sont venues encore renforcer. Elle permet d'envisager une exploitation à grande échelle pour répondre aux besoins du transport maritime et terrestre. Avec l'appui du gouvernement provincial, la côte Ouest du Canada a l'ambition de faire du GNL un carburant marin, comme l'a mis en avant un

projet⁵ qui montrait en 2013 l'intérêt de créer une synergie autour de STX Canada Marine et de Transports Canada afin de faire de Vancouver⁶ un hub majeur du ravitaillement GNL et d'assurer un débouché aux gisements intérieurs (Fig.50). L'amorçage de l'offre s'appuie sur les compagnies de ferries provinciales qui ont investi dans des techniques hybridant GNL et batteries. Par ailleurs, nombreux sont les transporteurs passés au GNL pour leur flotte routière. En 2017, la province comptait près de 20 projets de développement de site de liquéfaction de gaz naturel, à divers stades d'avancement⁷. Les points communs sont ici nombreux avec l'Europe du Nord, où les enjeux environnementaux jouent un rôle d'initiateur pour ce nouveau carburant.

Figure 50. Le réseau de gazoducs et des installations en projet en Colombie britannique (Données provinciales mars 2017)



1. Stewart Energy LNG Terminal
30 Mt/An - Stewart Energy (Canada-Chine)
2. Kitsault Energy Project LNG Terminal
20 Mt/An - Kitsault Energy (Canada-USA)
3. Nisga'a LNG Terminal
Capacité non définie - Nisga'a Nation (Canada)
4. Grassy Point LNG Terminal
20 Mt/An - Woodside Energy (Australie)
5. WCC LNG Terminal
30 Mt/An Imperial Oil (Canada) et ExxonMobil (USA)
6. Pacific NorthWest LNG Terminal
18 Mt/An - PETRONAS (Malaysia), JAPEX (Japon), Petroleum Brunei, India Oil, Sinopec (Chine)
7. Cedar LNG Terminal
10 Mt/An Haisla First Nation (Canada)
8. LNG Canada
24 Mt/An Shell (pays-Bas), Kogas (Corée du Sud) et PetroChina
9. Sarita LNG Terminal
30 Mt/An - Steelhead LNG (Canada) and Huu-ay-aht First Nations (Canada)
10. Malahat LNG Terminal
Capacité non déterminée- Steelhead LNG (Canada) et Seven Generations Energy (Canada)
11. Woodfibre LNG Terminal
2.1 Mt/An - Woodfibre Natural Gas (Canada)
12. Wespac LNG Terminal
3 Mt/An Wespac Midstream LNG (Canada)

Le Mexique

Le Mexique est un importateur net de gaz naturel. Son principal fournisseur sont les Etats-Unis qui exportent par pipelines depuis le Texas. Le système est complété par des terminaux d'importation : Altamira (Golfe du Mexique) et Manzanillo (Côte pacifique). En basse Californie, le terminal de Cosat Azul (220 000 m³ de stockage) et de Rosarito (en projet) sont directement orientés vers le marché américain et en mesure d'alimenter en carburant les ports de Los Angeles et Long Beach.

⁵ Alliance canadienne pour les véhicules au gaz naturel (2014), *Le gaz naturel liquéfié : un carburant marin pour la côte Ouest du Canada*, Ottawa, 64p. en ligne.

⁶ Participants au projet : American Bureau of Shipping, BC Ferries, British Columbia Institute of Technology, Initiative canadienne du gaz naturel/Alliance canadienne pour les véhicules au gaz naturel, Association canadienne de normalisation, Encana, FortisBC, Gouvernement du Canada , Registre de la Lloyd's, Port Metro Vancouver, Province de la Colombie-Britannique (Ministry of Transportation and Infrastructure, Pacific Gateway Branch), Rolls-Royce, Seaspan, Shell, STX Canada Marine, Teekay, Wärtsilä, Westport Innovations

⁷ <https://news.gov.bc.ca/factsheets/factsheet-GNL-project-proposals-in-british-columbia>

Le GNL marin dans le contexte extrême-oriental

L'Asie de l'est présente un marché à fort potentiel pour le GNL. Près de 40% du commerce mondial de GNL emprunte la mer de Chine (51). La croissance économique soutenue de la zone tire les besoins énergétiques et les prix du marché mondial. Par ailleurs, le recours massif au gaz naturel est ancien au Japon et en Corée, deux pays qui disposent d'installations portuaires nombreuses et d'une maîtrise avérée. L'attrait du GNL est aujourd'hui accru renforcé par la tendance à des approvisionnements énergétiques moins polluants : ainsi, la recherche de transition énergétique au Japon après la catastrophe de Fukushima ou en Chine, devenu deuxième importateur régional (Fig.52), engagée dans la réduction de l'émission polluants locaux des grands centres métropolitains. Cette évolution se décline dans l'ensemble des transports, notamment en Chine où gouvernement soutient pleinement les investissements favorables au GNL.

Figure 51. Principaux flux de GNL en mer de Chine (safety4sea.com)

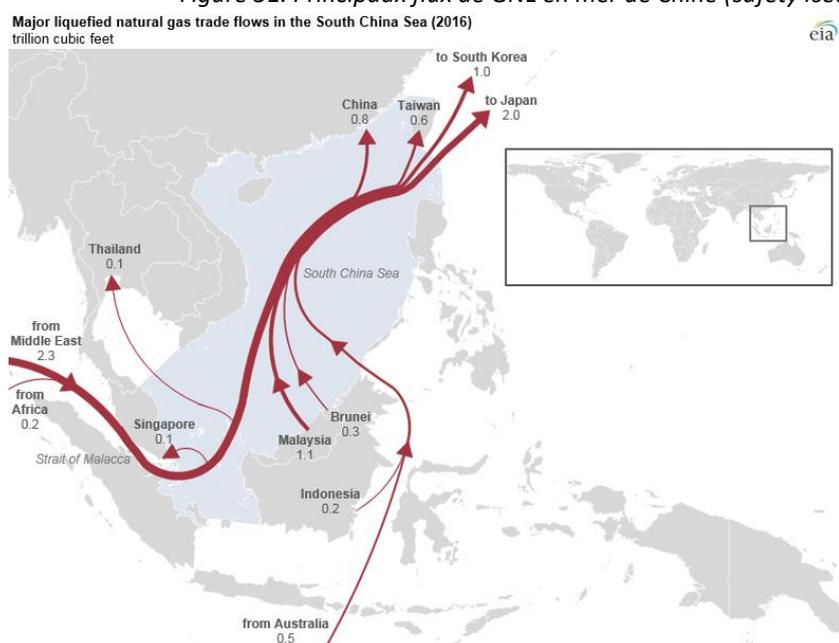
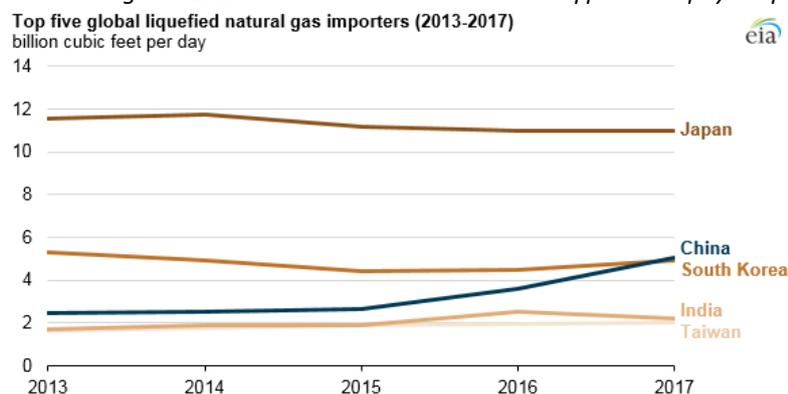


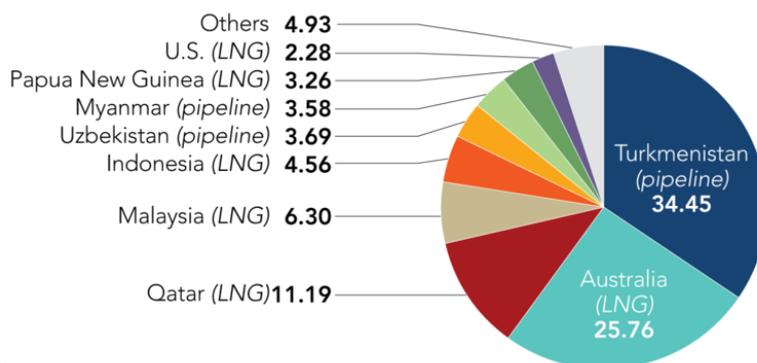
Figure 52. Evolution de la demande des cinq premiers pays importateurs de GNL en Asie (EIA, 2018)



Les fournisseurs traditionnels de gaz naturel pour ces pays sont le Brunei, l'Australie et le Qatar. Dans la perspective d'une demande grandissante et l'horizon de perspectives encore plus prometteuses, les

grands producteurs développent des stratégies volontaires pour s’implanter durablement dans la région, notamment pour répondre aux besoins du marché chinois (Fig. 53) : la Russie prolonge ses gazoducs vers l’est de l’Asie de l’Est (Gazprom va inaugurer une nouvelle infrastructure fin 2019) qui , permettra d’exploiter les gisements de Sibérie orientale aujourd’hui trop éloignés des marché européens ; les pays enclavés comme le Turkménistan voient dans le débouché chinois une valorisation de leur production ; plus au sud, la Birmanie a inauguré en 2013 un gazoduc de 2500 km de ses gisements offshore du Golfe du Bengale à la ville chinoise de Kunming (province du Yunnan). De l’autre côté du Pacifique, les perspectives de consommation ont conduit les acteurs canadiens et états-uniens à développer d’importantes unités de liquéfaction.

Figure 53. Les pays fournisseurs en gaz naturel du marché chinois (2017 en %)



Source: BP

Japon

Le Japon demeure le premier importateur de GNL avec 1/3 des volumes mondiaux. Le pays compte une quarantaine de terminaux GNL (Fig. 58), avec une forte concentration dans la baie de Tokyo (Tab.8). le pays dispose de la première flotte mondiale de méthaniers et dispose d’une filière structurée et puissante.

Figure 54. Les principaux terminaux GNL au Japon

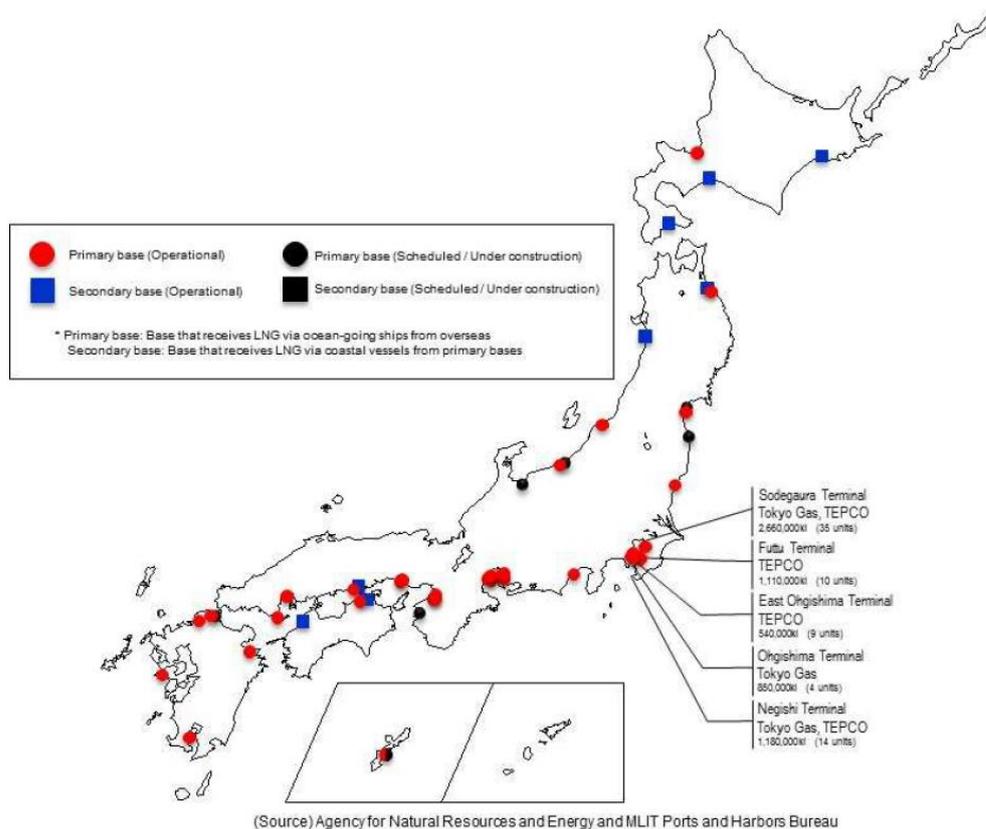


Tableau 8. Les terminaux GNL de la baie de Tokyo avec leurs potentiels de stockage

LNG terminal name	Location	Owner	Total volume (cubic meter)	No. of tanks	Year
Sodegaura LNG terminal	Chiba	Tokyo Gas, Tokyo Electric Power	2 660 000	35	1973
Negishi LNG terminal	Kanagawa	Tokyo Gas, Tokyo Electric Power	1 180 000	14	1969
Futtsu terminal	Chiba	Tokyo Electric Power	1 110 000	10	1985
Ogishima LNG terminal	Kanagawa	Tokyo Gas	850 000	4	1998
East Ogishima terminal	Kanagawa	Tokyo Electric Power	540 000	9	1984

Source: METI, MLIT, IEA.

L'usage du GNL est traditionnellement orienté vers la production électrique. Mais combinée à une position terminale sur la route Pacifique, l'importance des infrastructures installées désigne le Japon comme un hub potentiel pour le GNL carburant à l'échelle de l'Asie de l'Est, avec les derniers ports touchés dans la rotation des porte-conteneurs par exemple. Le gouvernement et les acteurs portuaires poussent fortement dans ce sens, appuyant les acteurs portuaires dans les réseaux internationaux du GNL. On peut ici évoquer à nouveau le rapprochement avec Singapour (*Japon-Singapour Summit Meeting* en 2016 et *Japan-Singapore Joint Study on GNL Bunkering* en 2017).

Toutefois, l'habitude héritée des acteurs japonais de passer des contrats de longue durée pour sécuriser les approvisionnements, enchérissent le prix du gaz. Asseoir une position de hub pour le bunkering ne peut se faire qu'en ajustant les tarifs. Ainsi, par une série de dispositifs législatifs, le gouvernement a poussé à la libéralisation du marché dès 2014. Face aux deux grands groupes

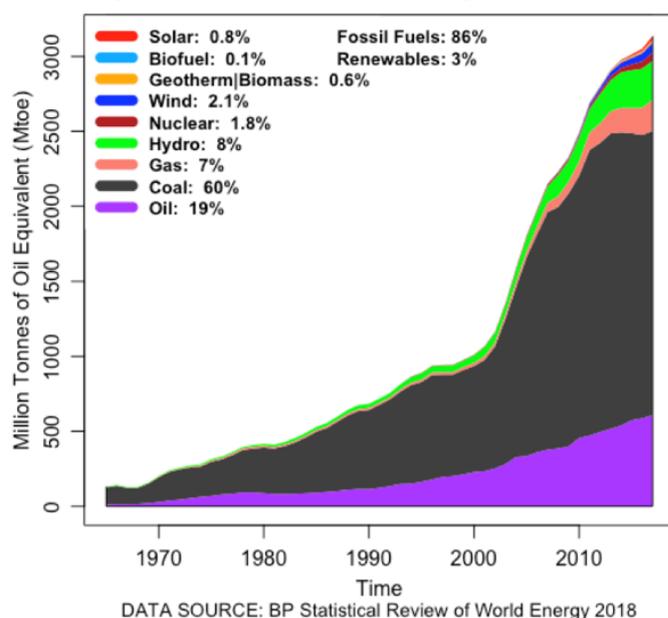
énergétiques parapublics, il favorise l'émergence de nouveaux acteurs. Un dispositif législatif pousse par exemple à la location des capacités inutilisées des grands gaziers et des producteurs d'électricité à de nouveaux entrants. Des groupes de réflexion nationaux impliquant souvent le ministère de l'industrie se sont constitués qui cherchent à favoriser l'émergence de ce nouveau carburant (cf. étude de faisabilité du Port de Yokohama- *Steering Commetee Yokohama* de 2016). Des aménagement techniques locaux et des dispositifs d'aides à la mutation vers le GNL sont proposés dont l'allègement des droits de port pour les navires au GNL appliqués à Tokyo, Yokohama, Nagoya et Kitakyushu.

Le ministère japonais des infrastructures, du transport et du tourisme (MLIT) subventionne la construction des premiers tankers de soutage GNL, sur le modèle de la Corée qui soutient financièrement la construction de navires propulsés au GNL dans le cadre de son plan quinquennal. Si les autorités japonaises n'ont pas retenu le principe de définition de zone ECA autour de l'archipel ou *a minima* à labord des principales conurbations, il y a là un levier d'action qui reste à activer pour positionner le pays sur la voie du GNL-carburant marin.

Le boom chinois du Gaz Naturel

Le 12^{ème} plan quinquennal a inauguré en Chine une stratégie volontaire de transition visant à réduire l'intensité énergétique de son économie et à en diversifier les sources (Wilhelmsen (2019)). Cette option accompagne tout particulièrement la montée en puissance de l'usage du gaz naturel dans les espaces métropolitains où il s'agit de réduire le rejet de particules fines. La part du gaz naturel qui aujourd'hui de 7% du mix énergétique national, devrait être portée à 10% en 2020 puis à 15% en 2030). La croissance importante des besoins énergétiques maintient la consommation du charbon, la Chine est devenue en 2017, le troisième consommateur de gaz derrière les Etats-Unis et la Russie et le second importateur mondial de GNL après le Japon.

Figure 55. L'évolution du mix énergétique chinois (1965 – 2017)



La Chine dispose d'importantes réserves conventionnelles de gaz naturel, au Centre et dans le Nord-ouest du pays, de de réserves non conventionnelles sous forme de gaz de schiste qui a une production annuelle de 9 Md m3 en 2017, des réserves estimées supérieures à celles des Etats-Unis, mais dont

l'exploitation située dans des régions montagneuses et arides seront limitées, faute de ressources en eau nécessaires au craquage de la roche (Fig. 62). La production nationale a plus que doublé entre 2007 et 2017, passant de 70 à 150 Md de m3. Sur ce volume, 7% sont liquéfiés dans des pôles de taille moyenne à proximité des gisements pour être redistribués par camion à l'échelle régionale. Les débouchés qui ont un temps été orientés vers les régions côtières trouvent désormais preneurs dans les espaces voisins des zones d'extraction, notamment dans le nord du pays où il est utilisé pour le chauffage en substitution du charbon. Le prix de vente du gaz des gisements chinois est fixé à un prix nettement inférieur à celui du marché mondial et entretient une forte demande intérieure visant à limiter la pollution urbaine (chauffage, production électrique mais aussi transport cf. Fig. 60).

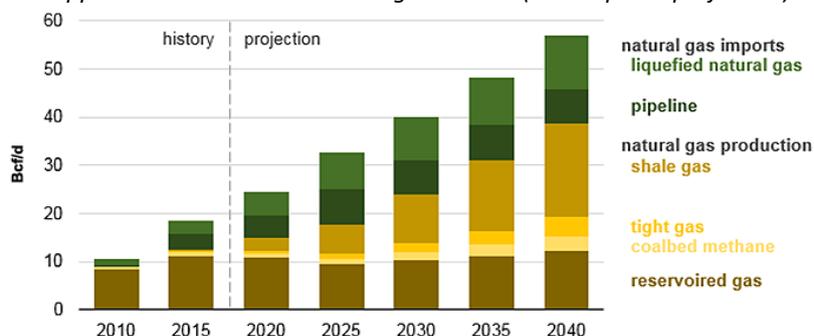
Figure 56. La consommation de gaz naturel selon les secteurs d'activité 2000 – 2015 (en Md de m3). Données National Bureau of Statistics of China. <http://data.stats.gov.cn/english/easyquery.htm?cn=C01>



Au cours des années 1990, le gouvernement central a soutenu le développement d'un réseau inter-régional de gaz (Fig.61), conduisant au triplement du réseau entre 2010 et 2015, qui est passé de 36 000 à 100 000 km, puis à 164 000 en 2017 !). L'infrastructure la plus importante est le gazoduc de 3900 km qui relie les gisements du Bassin de Tarim à Shanghai.

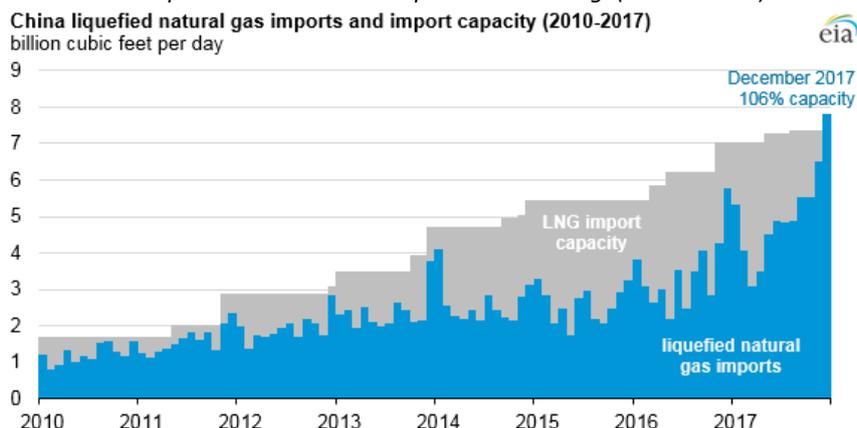
Le volume des importations de gaz naturel (43 Md m3 en 2017) permet à la Chine de faire jeu égal avec l'UE (de l'ordre de 60 Md de m3). Le pays vise les 100 Md m3 en 2025. La capacité de ses terminaux s'élève aujourd'hui à 120 Md de m3, conduisant à une saturation des installations de stockage (Fig.63).

Figure 57. Les approvisionnements chinois en gaz naturel (historique et projection)



Source: EIA 2017 International Energy Outlook (Reference Case)

Figure 58. Niveau d'importation du GNL et capacité de stockage(2010 – 2017)



Le GNL et dispositifs des terminaux portuaires

La Chine compte aujourd'hui 19 terminaux portuaires d'import (*Large Scale GNL*) contre 9 en 2013 (marqués par un drapeau sur la carte de la Fig. 64). Les grands opérateurs du secteur demeurent les entreprises publiques chinoises des hydrocarbures : CNPC, Sinopec and CNOOC. Elles contrôlent la production et dominant les achats à l'import, avec 96% des volumes importés de GNL. Comme au Japon, des acteurs privés sont apparus récemment à la faveur d'un souhait d'introduction de la concurrence et la souplesse du marché. Ces dernières disposent de quelques infrastructures de stockage mais sont plus actives sur le marché spot, les *small scale GNL* et le développement de l'offre pour les poids lourds.

Figure 59. Les terminaux GNL dans les ports chinois



Tableau 9 : Liste des terminaux GNL dans les ports chinois (source : Odgerel, Pack, 2019).

LNG Receiving Terminals and Storages Operating in China¹⁶²

Terminal name	Year	Operator	Capacity (mtpa)	In phase (mtpa)	Storage (cu.m)
Guangdong Dapeng	2006	CNOOC	6.57	2.3	480,000
Fujian	2008	CNOOC	6.3		640,000
Shanghai	2009	CNOOC, Shen-energy	3	3	495,000
Zhejiang Ningbo	2013	CNOOC	3	3	480,000
Zhuhai	2013	CNOOC	3.5	3.5	480,000
Tianjin (FSRU)	2013	CNOOC	2.2		145,000
Hainan	2014	CNOOC	2	1	320,000
Yuedong	2017	CNOOC	2	2	480,000
Shenzhen Diefu	2018	CNOOC	4		640,000
Jiangsu	2011	PetroChina	6.5	3	680,000
Dalian	2012	PetroChina	6	3	480,000
Caofeidian (Tangshan)	2013	PetroChina	3.5	6.5	640,000 ¹⁶³
Qingdao, Shandong	2014	Sinopec	3	8 ¹⁶⁴	480,000 ¹⁶⁵
Beihai, Guangxi	2016	Sinopec	3	2	640,000
Tianjin	2018	Sinopec	3	8	420,000 ¹⁶⁶
Dongguan	2009	Dongguan Jovo Energy	1.5	3	160,000
Shanghai Wuhaogou	2015	Shanghai Gas	0.5	3	320,000
Qidong, Jiangsu	2017	Xinjiang Guanghui	0.6	2.4	260,000
Zhoushan	2018	ENN Energy	3	2	320,000

Proposed LNG Receiving Terminals¹⁵⁷

Terminal Name	Year	Operator	Expected Capacity (mtpa)	Storage (cm)
Jiangyin	2020	Hanas Group	3	
Putian	2019		6	
Zhuhai	2020		6	
Yingko	2020	Hubei Energy, Changlian Petroleum	6	960,000
Zhoushan		Hubei Energy	3 (+6+3)	
Binzhou		Hubei Energy, Changlian Petroleum	6	
FLNG	2019	Changlian Petroleum	3	
Chaozhou	2020	Chaozhou Huafeng Group, Zhongtian Energy	4	520,000
Jiangyin	2018	Zhongtian Energy	2	
Chengmai		China Huadian	6	
Ganyu, Jiangsu	2020		3	
Jiangmen, Guangdong			6	
Fangchenggang		CNOOC	0.6	
Wuhu Yangtze River			3	
Fuqing		PetroChina	3	
Shenzhen			3.2	
Lianyungang		Sinopec	3	640,000
Rudong		GCL-Poly		
Yantai	2020		3	
Hongkong GBS		CLP Power		
Huanghua Port		Hebei Jinjianjia	2	
Rizhao	2019	Royal Golden Eagle (Pacific Oil & Gas), Rizhao Port	2	
Shantou, Guangdong	2018	Sino Gas	3	
Qinzhou		N/A	3	

La main visible du gouvernement central

Le boom dans l'achat des véhicules au gaz fait suite à l'annonce d'une prochaine restriction d'accès aux zones urbaines pour les véhicules diesel ou essence, avant même toute prise de décision effective, ce qui en dit long sur la perception du public sur la détermination gouvernementale de répondre à l'enjeu majeur de santé publique. Ce développement vient appuyer l'ambitieux 13^{ème} plan quinquennal en la matière qui visait 10 millions de véhicules au gaz naturel en 2020, ainsi que l'ouverture de 12,000 stations-service et 200 stations d'avitaillement pour bateau (Odgerel, Pack William, 2019).

La demande croissante de gaz naturel (essentiellement GNC) a bien sûr un effet accélérateur pour l'ensemble de la chaîne, autant pour les capacités d'importation que pour le transport intérieur. Cette évolution s'accompagne de la montée en puissance d'une filière industrielle soutenue à la fois par le pouvoir et portée par le développement du marché.

L'évolution très rapide du gaz naturel en Chine, souligne le poids des politiques publiques. L'adoption du cadre réglementaire concernant les installations et les opérations GNL-carburant marin ont été accélérées : les principes arrêtés en juin 2019 devront aboutir à l'établissement de spécifications

standards à la fin 2020. Le pays devra disposer à cette date d'un réseau adapté au soutage GNL dans tous les grands ports. En 2025, la couverture doit porter sur l'ensemble du système portuaire maritime et fluvial (www.lngworldnews.com, du 13/08/18). La part des unités de navigation au GNL aurait significativement crû pour les nouvelles unités mises en service (de l'ordre de 10 à 15% notamment dans les zones de contrôle d'émission (source www.GNLworldnews.com, août 2018).

Il convient néanmoins de tempérer cet engouement pour le transport maritime, où le nouveau terminal privé de GNL à Zhoushan (face à Ningbo) inauguré en 2017, a été le premier, et encore un des seuls à être en mesure d'offrir un service de soutage effectif pour les navires océaniques.

Une réglementation environnementale plus stricte dans les ports chinois.

En décembre 2015, des textes réglementaires établis par le Ministère des Transports imposent pour la première fois des seuils d'émission de polluant pour les principales zones maritimes et portuaires : le Delta de la rivière des perles, le Delta du Yangtze et la Baie de Bohai (Beijing, Tianjin et Hebei). Des étapes prévoient l'extension ultérieure à l'ensemble du littoral chinois : depuis 2018 l'ensemble des ports doivent par exemple respecter une norme de sulfure inférieure à 0,5% et en 2019 l'ensemble des eaux côtières seront soumis à cette restriction. Des mesures qui anticipent de peu les termes de l'OMI, même si la Chine cherche à maintenir ses propres normes. Pour les cours d'eau, la norme requise est de 0.1% de sulfure.

Figure 60. Les zones d'émission restreintes en Chine



DECA : Domestic Emission Control Areas : en vert en vigueur – en rouge extension possible.

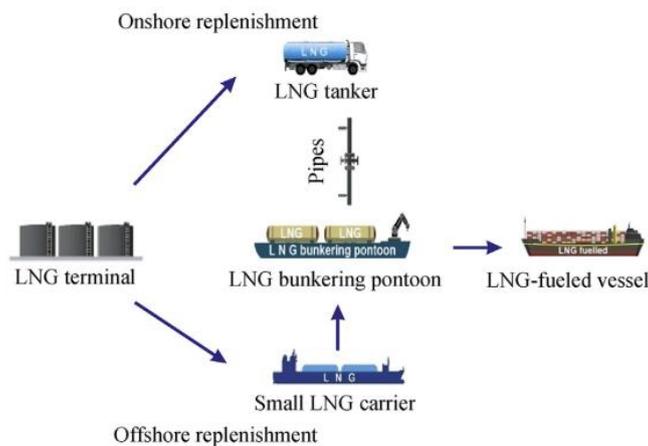
La question du soutage GNL sur le Yangtze et de la Rivière des Perles

Les engagements environnementaux pris en 2016 (*Guiding Opinions on Strengthening the Control and Treatment of Environmental Pollution in the Yangtze River Waterway*) ont conduit à faire évoluer une flotte vieillissante et inadaptée. Le GNL s'impose désormais comme une option efficace, malgré un coût de l'ordre de 15 à 20% supérieur aux solutions traditionnelles. Des aides publiques doivent aider à franchir le pas. En 2016, 99 unités propulsées au GNL sont produites sur un programme qui prévoit

1000 remotorisations et 400 unités nouvelles sur les unités fluviales. Cela ne représente pour le moment qu'une infime partie des 200 000 unités du réseau intérieur, un grand nombre d'unités sont encore très artisanales et certaines non motorisées ! L'objectif gouvernemental table à l'horizon 2025 sur 2800 bateaux GNL sur le Yangtze, 700 sur la Rivière des Perles, 3500 sur le canal Beijing e Hangzhou et 150 navires côtiers. De tels chiffres permettent d'envisager une industrialisation dans les chantiers.

Encore faut-il pouvoir assurer un approvisionnement tout le long de l'itinéraire fluvial. Les barges flottantes (*GNL bunkering pontoons*) semblent présenter la meilleure solution pour le soutage GNL des bateaux sur les grands axes fluviaux (Fig.65). En effet, les variations importantes de niveau de 18m à Chongqing, 14 m à Wuhan et encore 8 à Nanjing, rendant impossibles le recours à des stations fixes sur berge. Leur coût unitaire est estimé à 5,15 M€ (Hongjun, 2018).

Figure 61. Le positionnement des pontons fluviaux comme stockages intermédiaires



Partant de ces données quantitatives, des experts chinois (Hongjun *et al.*, 2018) ont pu alors déterminer le nombre de stations nécessaires pour répondre aux futurs besoins (Tab.10), Les sites d'implantations retenus devront bien sûr tenir compte de la densité des trafics et de la demande et des contraintes de sécurité pour les positionner par rapport aux terminaux portuaires existants (Fig.67).

Tableau 10. Calibrage de la demande GNL pour le Yangtze et la Rivière des Perles (Hongjun *et al.*, 2018)

Calculation of demands for LNG bunkering pontoons in the Yangtze and Pearl river areas.

Item	Yangtze River area	Pearl River area
Number of LNG-fueled vessels	2800	700
Average power per ship (in the general operational mode)/kW	400	300
Fuel consumption ^a /[g·(kW) ⁻¹]	190	190
Yearly working hours per ship/(h·ship ⁻¹)	3000	3000
Total LNG consumption per year/10 ⁴ t	64	12
Storage capacity of each LNG bunkering pontoon ^b /tons	225	225
Days of one turnover per ship ^c /days	3	3
Yearly bunkering capacity of each LNG bunkering pontoon/10 thousand tons	27450	27450
Number of LNG bunkering pontoons	24	5

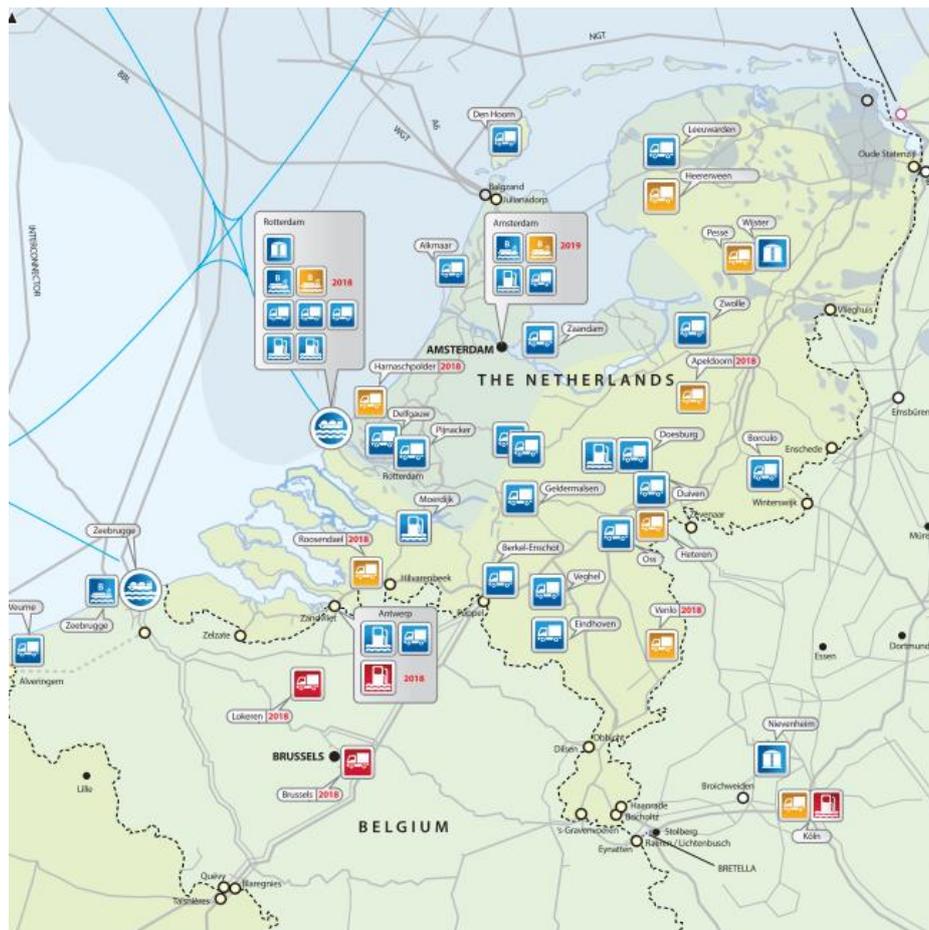
Figure 62. Proposition d'implantations de stations GNL sur le réseau fluvial chinois



Les solutions GLN dans les ports du Benelux

Les ports de l'ARAZ (Amsterdam, Rotterdam, Anvers et Zeebruges) sont dotés de solutions GNL, avec un développement plus marqué aux Pays-Bas, qui outre les ports maritimes offre des 25 stations routières GNL et deux stations fluviales (Moerdijk et Doesburg). Cette avance en termes d'équipement devrait, qui s'accroît encore, s'appuyer sur une orientation nationale ancienne liée à l'exploitation du gisement de Groningue.

Figure 63. L'offre du GNL dans le Benelux (Source Gas Infrastructure Europe, juin 2018)



Un potentiel considéré avec intérêt à Rotterdam

Le port de Rotterdam s'est investi dans le GNL dont il est le principal hub en Europe. Depuis plus de 10 ans, il cherche à se positionner comme le port européen de référence pour le soutage. A ce titre, il a le premier accueilli en 2017 un des premiers poids lourds propulsés au GNL, procédure jusque-là interdite par la réglementation. En juillet 2019, pour la première fois également en Europe, un soutage était effectué à titre d'essai durant les opérations de déchargement d'un porte-conteneurs de la CMA (*simultaneous operations* ou SIMOPS)

L'évolution de la demande de soutage est un indice intéressant des évolutions. Les statistiques pointent une évolution défavorable aux produits pétroliers qui enregistrent en 2016 et 2018 une baisse de 10,1 à 9,500 Mm³ (avec une part des fiouls lourds qui recule de 8,5 à 7,9 Mm³, du fait de porte-conteneurs plus grands et plus performants, une classe de navire pèse pour 70% des livraisons (*Données Port de Rotterdam*). Entre les deux dates, le GNL carburant est passé de 100 à 9500 tonnes annuelles et atteindra les 25 000 t fin 2019. Les volumes des *low* et des *very sulphur fuel oil* enregistrent également d'importantes croissances.

Figure 64. Les terminaux GNL dans le port de Rotterdam (Source Port de Rotterdam, 2018)



Les unités navales peuvent bénéficier de remise de droit de port selon leurs classements environnemental avec un rabais de 6 à 10% pour les navires et jusqu'à 30% pour les unités fluviales. Fin 2018, ces derniers étaient encore au nombre de 4 (source Port de Rotterdam, 2019). L'un d'eux, le Greenstream de Shell, dispose de quatre petits moteurs pour mieux adapter la puissance aux besoins. Début 2019, la liste a été enrichie par un dragueur motorisé au GNL.

L'équipement d'import GNL est assuré par le Terminal GATE (Gas Access to Europe) contrôlé par Gasunie et Vopak sur le site de Maasvlakte qui est facilement accessible aux méthaniers. Il offre depuis 2011 trois réservoirs de stockage de 180.000 m³. Une jetée a été aménagée en 2016 pour assurer un soutage possible depuis le stockage (Fig.64). C'est à partir de cette tête de réseau que s'organise la redistribution à travers diverses stations de type *small scale*.

Pour répondre au marché européen, Shell a mis en service un navire moderne, le Cardissa, d'une capacité de 6500 m³ ainsi qu'un contrat (*time charter agreement*) pour une unité de 3000 m³ exploitée par Victrol N.V. et la CFT, notamment pour les besoins fluviaux (Port de Rotterdam, août 2017).

Le Port (via le *Rotterdam Port Fund*) et la banque NIBC ont pris le contrôle capitalistique du groupe Rolande, opérateur dans la distribution du GNL routier aux Pays-Bas à la tête d'un réseau de 9 stations et par ailleurs producteur de bio-GNL.

Des avancées certaines à Amsterdam

Le groupe néerlandais Titan LNG (Amsterdam) s'est spécialisé dans la distribution du gaz naturel sans recours à des gazoducs. Avec 50 M€ de chiffres d'affaires en 2018, il est de fait un acteur majeur de la distribution de GNL en Europe du Nord-Ouest pour des usages industriels ou de soutage. Titan LNG a investi dans deux barges flottantes de soutage GNL pour navires côtiers, unités fluviales (*bunkering pontoon*). La première, la barge FlexFueller001 a été mise en service en juin 2019 à Amsterdam où l'opérateur et l'autorité du Port portuaire ont signé un contrat de long terme. L'investissement a été réalisé avec l'appui financier public (soutien de la province de Hollande du Nord au titre de sa politique portuaire et environnementale). L'implantation centrale sur le site de l'America Harbour ('Groene kade' ou Green Quay) offrait le meilleur compromis pour l'alimentation par terre et par mer et la possibilité de desservir en retour des unités fluviales et maritimes (avec un tirant d'eau de 0,70 m). L'offre GNL était préalablement assurée depuis 2013 par camions-citernes. Un second modèle FlexFueller002, devrait être lancé en 2020 à Anvers. Et l'on envisage ensuite de construire des unités automotrices qui pourraient alors prendre dans d'autres ports européens.

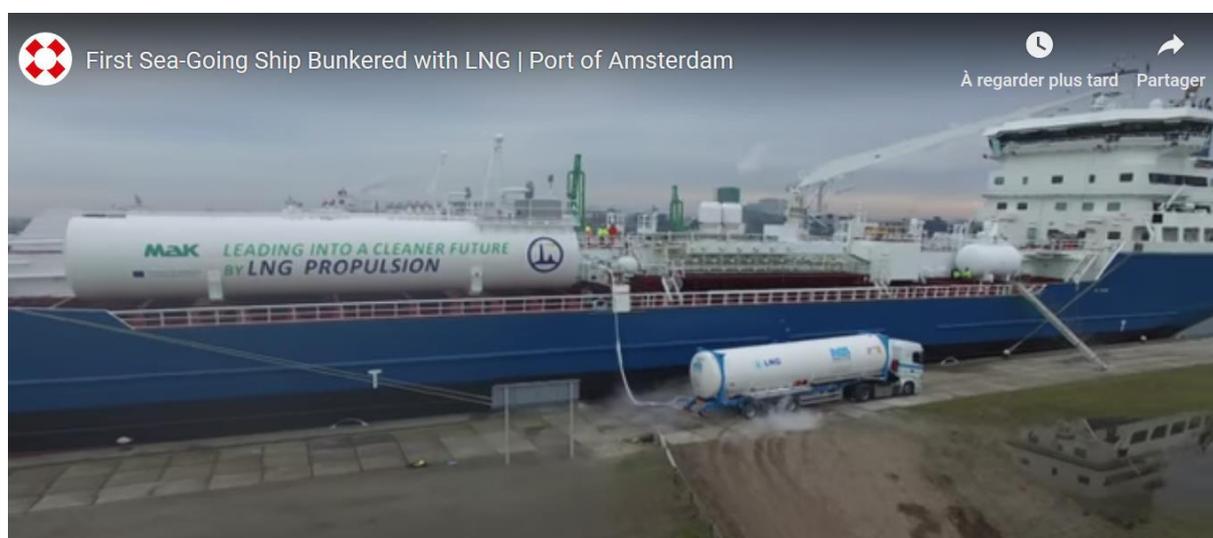
Le GNL à Zeebrugge et à Anvers

Le terminal méthanier de Zeebrugge a joué un rôle crucial dans l'approvisionnement gazier en Europe à partir de sa mise en service en 1987. Mais sa fonction première était liée à la regazéification du gaz naturel importé avec un rôle de régulation que lui a permis de jouer une capacité croissante de stockage : 380 000 m³ dans 3 réservoirs de 80 000 m³ et 1 réservoir de 140 000 m³, enfin une extension en 2017 avec une unité supplémentaire de 180 000 m³. Cette même année, Gas4Sea créait une première mondiale. Engy Zeebrugge, le premier navire de soutage GNL était remis à ses commanditaires en Corée avant d'être rattaché à Zeebrugge. Sa capacité de soutage de 5 000 m³ lui permet de s'approvisionner au terminal de Fluxys à Zeebrugge réaménagé à cet effet via un second appontement. Il approvisionne deux navires transportant des véhicules vers l'Europe du nord. C'est aussi à partir de son port d'attache qu'il approvisionnera les navires pétroliers des groupes énergétiques norvégien Statoil et Equinor dans le port de Rotterdam.

Gas4sea est une marque commune lancée en 2014 sur les bases d'un protocole d'accord entre ENGIE, Mitsubishi Corporation (chantier navals) and NYK (armateur qui compte dans sa flotte 71 méthaniers). Elle repose sur l'engagement d'une mutualisation de leurs compétences sur toute la partie liée à l'approvisionnement pour être en mesure de fournir leur carburant dans le monde entier. Le premier navire vocation à se développer dans d'autres régions en lien avec les différents acteurs de la filière maritime : autorités portuaires, opérateurs de terminaux, compagnies maritimes, autorités locales. Le GNL à Anvers

L'autre FlexFueller 002 concerne Anvers et sera gérée en partenariat avec Fluxys qui dispose de la concession de distribution à Anvers (quai 526/528) reprise à Engie, assurée jusque-là par camion-citerne. Une station-service pour PL doit aussi être implantée sur le site. Le hub énergétique centré sur le GNL avec un accès routier côté terrestre et ouvert aux bateaux, aux navires côtiers, aux dragueurs et aux remorqueurs va permettre l'approvisionnement direct (*shore to ship*) et le ravitaillement par navire (*ship to ship*). En 2016, le coût de l'investissement était estimé à 100 M€.

Figure 65. Le premier soutage GNL dans le port d'Amsterdam



Ces deux unités flottantes stationnaires pour la distribution de GLL (*barge/pontoon*) ont été réalisées par les chantiers naval néerlandais Kooiman. Elles mesurent 76,40 m de long et 11,45 m de large pour un emport de 370 m³ de gaz.

Auparavant, le soutage GNL n'était possible que par l'intermédiaire de camions-citernes en provenance du terminal GNL de Zeebrugge dont la première opération du genre s'était déroulée en 2015. Cette année-là, le port avait lancé un appel d'offre pour la fourniture d'une solution de soutage GNL. Une initiative soutenue financièrement par l'Union européenne dans le cadre des Réseaux transeuropéens de l'énergie (Étienne Berrier, JMM, 8/3/2019).



Un opérateur local majeur, le groupe Fluxys

Le groupe Fluxys se présente comme un acteur intermédiaire entre les grands producteurs de gaz et les distributeurs (midstream segment). Il gère des réseaux de gaz haute pression et offre des capacités de stockage aux autres opérateurs de la chaîne.

Le groupe Fluxys est basé à Bruxelles et contrôlé par de grands actionnaires institutionnels : Publigas (77,54%) holding des Communes belges de distribution de gaz, de participations fédérales de l'Etat belge (2,13%), la Caisse de dépôt et placement du Québec (19,91 %) déjà très active dans le secteur gazier en Amérique du Nord, enfin une participation des salariés (0,42%). Le groupe dispose d'installations GNL à travers toute l'Europe, notamment du terminal de Dunkerque dont il détient 61% suite au rachat des parts de Total et de GDF en oct. 2018. La même année, il s'est désengagé du réseau de gaz haute pression de Swedgas et a pris le contrôle de 66% de son homologue grec DESFA.

Figure 66. Fluxys, un opérateur pivot en Europe (source, rapport d'activité Fluxys 2018)



Le groupe dispose de participations notables dans d'importantes infrastructures gazières d'interconnexion en Europe qui en font un acteur -clé dans la gestion des marchés du nord-ouest européen et italien, à travers le contrôle de BBL (à 20%), d'Europa Naturgas Pipeline (49%) du Transitgas Pipeline en Suisse (46%), d'EUGAL (European Gas Pipeline Link) (16.5%) et TAP (Trans Adriatic Pipeline) (19%) dont la construction est en voie d'achèvement.

En 2018, Fluxys a construit une seconde station-service pour PL à Zeebruges sur son terminal et double la capacité locale à 8000 opérations annuelles. Cette extension s'inscrivant dans le cadre des RTE-T a bénéficié du soutien de l'UE.

L'usage du GNL comme carburant dans les ports de la Baltique

L'espace maritime de la Baltique apparaît comme particulièrement favorable au développement de la technologie de propulsion maritime au GNL. Même si cette technologie y était connue dès les années 1960, ce n'est qu'aujourd'hui qu'elle se présente comme une alternative crédible, sous l'effet de de l'importance des engagements environnementaux et l'instauration dès 2011 d'une zone SECA (Fig.68). La géographie intervient dans l'organisation des proximités régionales marquées par le fait maritime, et tout particulièrement par les relations régulières de ferries. Le GNL est aussi une technologie portée par les pays gaziers comme la Norvège, qui tire ses ressources de la Mer du Nord voisine et diffuse une énergie qu'elle adapte à un territoire découpé et surtout accessible par la mer.

Enfin, la géopolitique du gaz, est particulièrement favorable à la diffusion spatiale de cette ressource dans un espace très dépendant de l'approvisionnement russe (Serry, 2017). Les installations littorales de GNL plus nombreuses peuvent désormais servir de point d'approvisionnement aux navires, dès lors qu'elles sont adaptées au soutage. Tous ces éléments désignent la zone Baltique comme un laboratoire potentiel pour l'usage du GNL comme carburant. Par leur maîtrise technique et de leur réputation en termes de sécurité, les pays scandinaves ont joué un rôle important dans la récente normalisation du GNL comme carburant maritime, valorisant une pratique bien établie. Les industriels et la puissance publique sont épaulés par de nombreux cabinets d'ingénieurs et de conseil spécialisés dans ce domaine. Toutefois, la fragmentation nationale des espaces et la taille relativement modeste du marché et des acteurs fait de la Baltique une scène modeste, bien que dynamique du GNL marin.

Une réponse commune au défi environnemental d'une ferme semi-fermée

Les pays fenno-scandinaves ont depuis des décennies montré un engagement politique résolu en faveur de la défense des grands équilibres naturels. Leurs gouvernements, aiguillonnés par l'opinion publique, ont porté une attention particulière aux menaces qui pèsent sur l'espace maritime, élément central du cadre de vie et de l'identité de ces populations fortement concentrées sur le littoral (Gee et al., 2017). Le caractère semi-fermé de la Baltique, fait de cette mer un espace écologiquement fragile, notamment du fait des activités liées à la navigation (BPO, 2017). Dans le cadre de l'intégration européenne, les valeurs écologiques ont été progressivement partagées par les autres pays riverains,

notamment les républiques baltes, et dans une moindre mesure de la Pologne et de l'Allemagne dont la conversion au GNL est plus tardive et plus limitée. La transition vers le GNL marin a pu bénéficier de soutien des politiques communautaires à divers titres : l'intégration régionale, l'innovation technologique et bien sûr d'une démarche de durabilité.

Figure 67. Les zones SECA en Europe



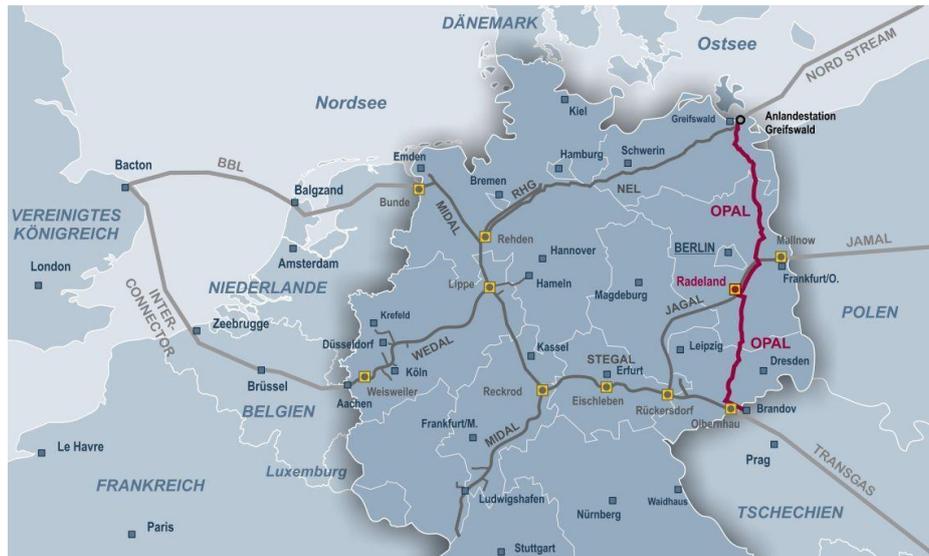
Le gaz naturel, une ressource particulièrement sujette aux réalités géopolitiques régionales

Le gaz naturel est une ressource énergétique importante pour les riverains de la Baltique. L'approvisionnement russe d'une énergie bon marché durant l'ère soviétique a contribué à orienter les marchés et les choix des politiques énergétiques des pays voisins, créant une situation de dépendance. Celle-ci s'est prolongée vers l'ouest à la faveur des accords d'exportation du gaz naturel durant les années 1980, puis par la réalisation du gazoduc sous-marin Nordstream inauguré en 2012 et dont le doublement est toujours en discussion (Fig.69). Mais la Russie n'est pas la seule à approvisionner le marché régional, la Norvège s'impose comme un acteur de référence, soucieuse de trouver des débouchés pour sa propre production vers les pays solvables (Suède, Danemark, Finlande). La Pologne qui dispose d'important gisement de charbon, n'a pas écarté l'exploitation possible des gaz de schiste, mais c'est surtout au nom de l'indépendance nationale qu'elle s'est lancée dans la construction d'un important terminal GNL à Swinoujscie à vocation d'importation mais qui pourrait servir de tête de pont pour le soutage marin.

L'Allemagne est paradoxalement le pays le moins bien doté en infrastructures GNL alors qu'il dispose du hub portuaire régional avec Hambourg. Il est vrai que son choix d'alimentation en gaz naturel repose sur le partenariat de long terme avec la Russie via des gazoducs continentaux (Yamal et son prolongement) doublée par une liaison sous-marine (*Nordstream*). L'interconnexion avec les Benelux lui ouvre l'approvisionnement aux marchés mondiaux via les hubs de Zeebruges, de Rotterdam et du

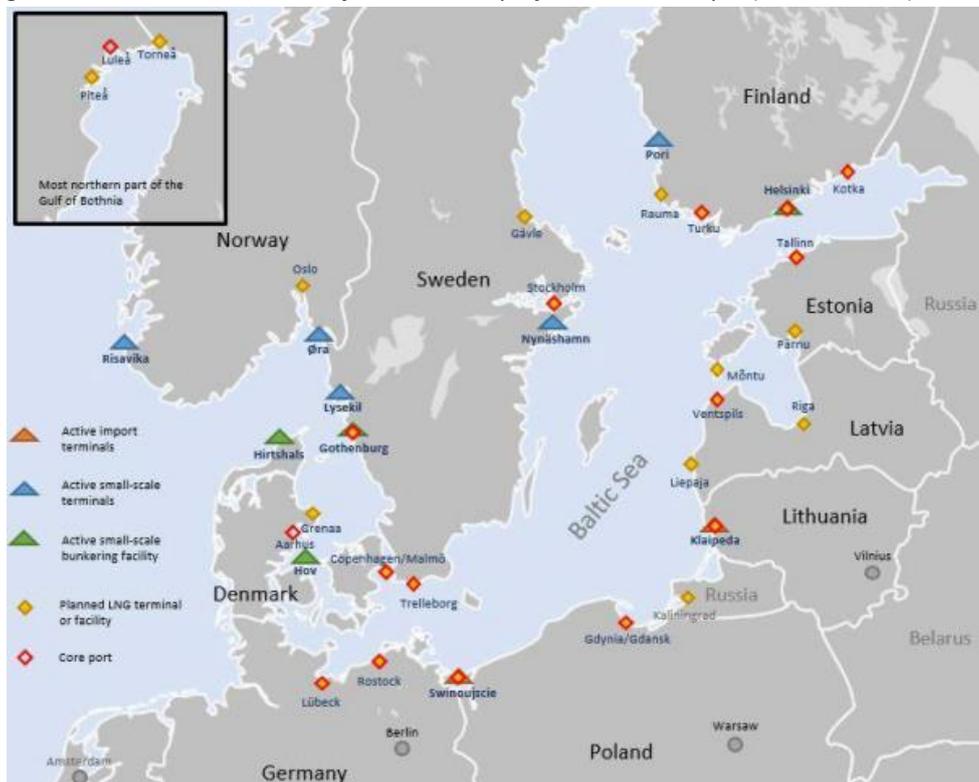
Nord des Pays-Bas (Fig.70), sans avoir besoin de disposer lui-même de terminaux capacitaires en propre.

Figure 68. La situation gazière de l'Allemagne



Le bras de fer de l'Ukraine et de la Russie sur le plan énergétique, a mis en lumière le rôle stratégique de la maîtrise de l'approvisionnement en gaz naturel pour de nombreux pays. La volonté de moindre dépendre des ressources russes les a conduits à mettre en chantier des terminaux GNL pour affirmer leur autonomie énergétique (Finlande, Pologne, républiques baltes). La multiplication des sources potentielles d'approvisionnement de la zone en gaz naturel, particulièrement sous forme de GNL accroît la concurrence entre pays fournisseurs et conduit à rendre plus disponible le GNL pour un usage marin (Fig. 69 et 70).

Figure 69. Les terminaux GNL en fonction et en projet dans la Baltique (Go NLG, 2017)



Une structure *a priori* favorable à la conversion au GNL : importance des trafics captifs et des offres des lignes de ferries et de croisière

En Baltique, le GNL s'avère une énergie d'autant plus attractive qu'elle répond aux besoins et aux contraintes des relations de courtes distances (de type ferries) : la régularité des itinéraires qui engage mutuellement les opérateurs et les énergéticiens, l'importance relative du temps passé dans les ports avec la volonté d'y réduire les émissions, les possibilités de soutage, le caractère plus vertueux du GNL qui est un argument commercial auprès des clients terminaux (transporteurs, industriels, mais aussi particuliers). Dès lors que les ports touchés sont en nombre plus restreints, les accords à trouver pour leur équipement sont plus facile à obtenir, le plus souvent sur des bases bilatérales entre ports, là où les négociations multilatérales sont plus complexes et aléatoires. Ces éléments peuvent aussi être avancés pour l'offre de croisière.

Figure 70. Carte complétant le réseau des stations de soutage dans la région de la Mer Baltique



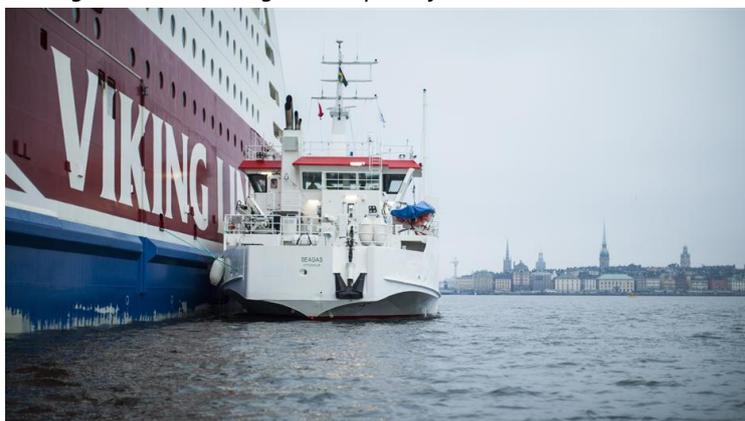
La tradition de coopération et le transfert de technologie : la place de l'UE dans le développement de technologies GNL

Le GNL suppose la mise en réseau des installations techniques ou du moins la coordination des actions à mener dans le choix des normes, dans le calendrier de réalisation des installations. L'espace Baltique peut ici s'appuyer sur une tradition effective de coopération et de concertation interétatique pour lesquelles elle est souvent citée en exemple au sein de l'UE (Hassler et al. 2018). Cette exemplarité se

combine à l'innovation technologique avec des retombées environnementales, deux entrées permettent d'accéder plus facilement à des financements européens qui jouent un rôle déterminant de levier pour le lancement de la nouvelle énergie.

A travers le financement de RTE-T, l'UE apporte un fort soutien aux projets de collaboration ayant pour objet le GNL et atteint un double objectif, celui de la coopération transfrontalière et de réduction des émissions. Les dispositifs en faveur du GNL sont aussi réglementaires. Ainsi, la directive 2014/94/EU impose une obligation d'accès à des capacités de soutage au GNL le long des corridors maritimes RTE-T après 2025. Les ports de la Baltique ont été les premiers au monde à s'équiper en soutage pour le GNL. Le port de Stockholm a ouvert la voie solution en *ship to ship* avec une opération réalisée pour des ferries dans le port même – Fig.72). D'autres terminaux portuaires ont suivi, mettant en œuvre diverses solutions techniques : en 2014, la station flottante de stockage et de regazéification de Klaipėda ou les installations terrestres de Lysekil (Suède), en 2015 une installation a vu le jour au port de Hirtshals au Danemark pour le *Fjordline*, les terminaux *Small Scale* sont venus équiper les ports de Göteborg et de Nynäshamn, enfin le terminal gazier de Świnoujście en Pologne sera équipé pour permettre l'approvisionnement des navires.

Figure 71. Le soutage du Grace Viking Line au port of Stockholm



La convergence des acteurs régionaux sur la question du GNL se retrouve aussi dans les participations croisées des acteurs économiques. On peut ici mentionner la société transnationale Skangas dont les capitaux relèvent à 70% du finlandais Gasum et à 30% par Lyse, société aux mains d'un regroupement de 16 communes norvégiennes (District de Sør-Rogaland au sud-ouest du pays), spécialisé dans la production et la distribution d'électricité.

Le GNL carburant marin, un argument de promotion régional et international

La Baltique se conçoit ainsi comme un modèle de pratique environnementale Baltic (« *model region for green ports & maritime transport* ») où le GNL occupe une place importante. La BPO (*Baltic Ports Organization*) est aussi très active sur la question du GNL et répercute largement l'information à travers ses publications conjointes avec l'UE (RTE-T) de guides pratiques (*GNL Handbook I & Handbook II*) et l'organisation de rencontres thématiques. Cette structure co-finance des projets comme le "*GNL in Baltic Sea Ports I & II*", visant à coordonner les investissements et à structurer un réseau cohérent de ports équipés ainsi qu'à favoriser le retour d'expérience sur le sujet. Les acteurs publics et privés de la Baltique cherchent aujourd'hui à développer une véritable politique cluster autour de l'usage du

GNL en diffusant les bonnes pratiques, les normes et en soutenant une politique volontariste autour de ce thème. Les travaux autour du groupement de promotion Go LNG (<http://www.golng.eu>) est tout à fait éloquent à cet égard : une plateforme marketing commune, la mise en réseau des acteurs (plus de 80 membres de structures privées et publiques), le soutien des actions communes, l'organisation régulière de conférences thématiques sur le GNL.

Acteurs et Etats partagent les mêmes références et diffusent les bonnes pratiques sur les rives de la Baltique. La « *Baltic Ports Organization* » organise régulièrement des conférences régionales sur le thème du GNL. Un travail précurseur en 2008 sur la faisabilité du GNL comme carburant avait rassemblé 8 partenaires d'Europe du Nord sous la houlette du norvégien Gasnor, à travers le programme « Intelligent Energy Europe : MAGALOG (*Maritime Gas Fuel Logistics*)⁸, conduisant un premier schéma d'implantation d'équipements pour Lübeck-Travemünde, Stockholm, Swinoujscie, Göteborg, Bergen. D'autres études, plus détaillées ont suivi, ainsi le projet lancé en 2011, *GNL in Baltic Sea Ports I* qui implique sept sites portuaires dans sa première version : Aarhus, Copenhagen-Malmö, Helsingborg, Helsinki, Stockholm, Tallinn et Turku, puis 5 dans le prolongement du programme (*Baltic Sea Ports II*). Chacun d'entre eux développe un projet d'équipement et réalise les études de faisabilité économiques et environnementales. Localement des aides spécifiques peuvent être attribuées, ainsi pour le port suédois d'Helsingborg particulièrement investi sur le projet dans les programmes Helga 1 (2011-14), Helga 2 (2015) et 3 (intégré au projet Hekla).

Une progressive mutation de la flotte de la Baltique vers le GNL

L'inscription de la mer Baltique en zone SECA impose l'usage de carburants moins chargés en soufre. Cet engagement était d'autant plus fort que la menace que faisait peser la pollution héritée des pays d'économie dirigiste, puis les pays en transition étaient importants : logique productive et organisation fondée sur l'industrie lourde traditionnelle, manque de considération des enjeux environnementaux, surcoûts engendrés et l'absence de maîtrise technologique. La transition politique et économique ainsi que l'intégration de la plupart des pays riverains au sein de l'UE a permis de renforcer la coopération sur ces questions à travers l'action de la Commission d'Helsinki (HELCOM) qui a en charge la protection de la Baltique. Dans l'application des dispositifs européens, les acteurs locaux ont toujours été très impliqués dépassant souvent les attentes exigées (Fig.72).

⁸ Baltic Energy Forum e.V., Germany, City of Swinoujscie, Poland, Gasnor AS, Norway (Co-ordinator) Hordaland Olje og Gass, Norway, MARINTEK, Norsk Marinteknisk Forskningsinstitutt AS, Norway, Stadtwerke Lübeck GmbH, Germany

Figure 72. Types de technologies employées pour satisfaire aux normes de la SECA (4^{ème} trimestre 2018)-
Source BPO Seca Report, 2016.



Le passage au GNL devrait bénéficier en revanche du renouvellement progressif de la flotte pour accroître son poids relatif. Fin 2015, on comptait 27 unités propulsées au GNL (24 constructions neuves et 3 reconversions) (Fig.73). Le processus est largement dominé par la Norvège (Fig.74).

Figure 73. Nombre de navires propulsés au GNL selon la catégorie

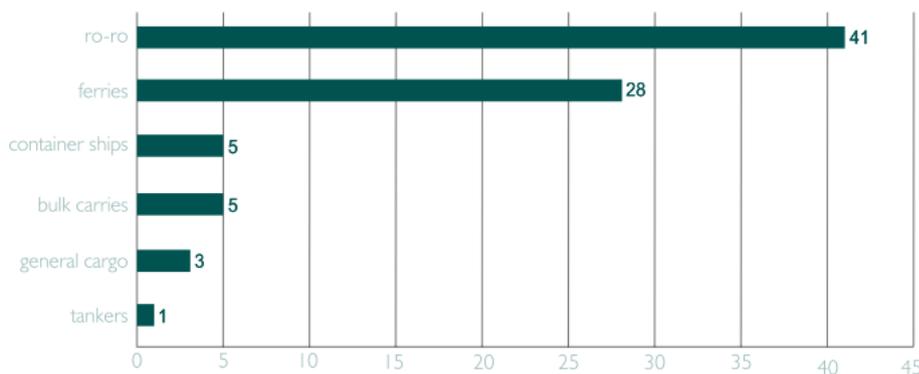
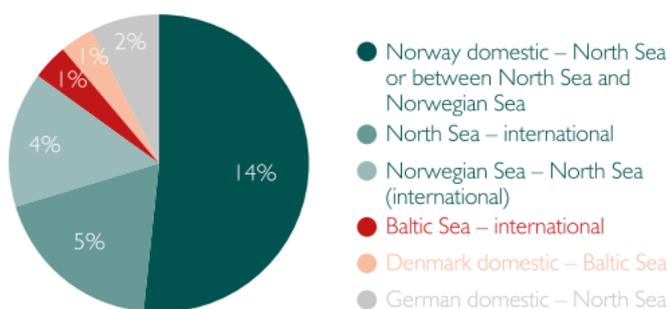


Figure 74. Répartition des navires selon leur pavillon (les chiffres en % donnent leur part mondiale)



Les approches nationales autour de la Baltique

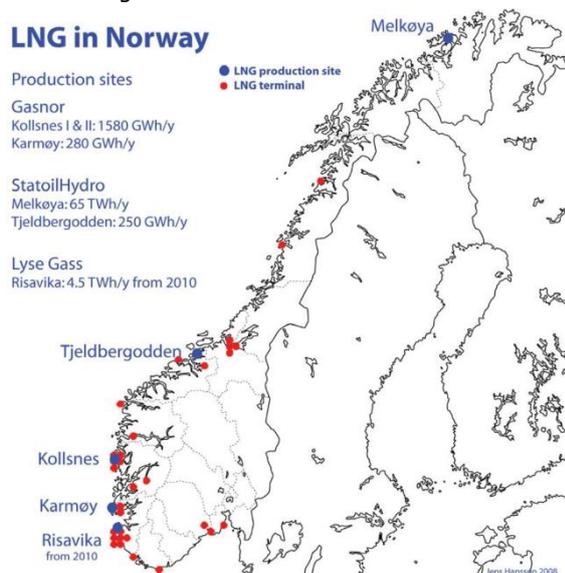
La Norvège, un pays pionnier

En Norvège, l'avancée du GNL repose sur la combinaison de plusieurs facteurs favorables :

- L'existence d'une ressource domestique en gaz naturel (Mer du Nord) ;
- Les contraintes topographiques rendent peu attractive la construction de gazoducs pour desservir une population très dispersée le long des côtes à fjords et poussent à équiper les collectivités littorales en générateurs GNL ;
- La richesse du pays animé d'une politique volontariste en matière environnementale.

L'opérateur national Gasnor, sous contrôle complet de Shell depuis 2012, a lancé des activités de liquéfaction en 1994, à partir des centres de Karmøy and et Kollsnes. Il en assure la distribution à petite échelle (*small scale*) pour des usages industriels et domestiques et offre une couverture particulièrement dense d'équipements (Fig.76). A partir de la quarantaine de terminaux distribués sur la côte norvégienne, s'est ainsi diffusé un usage polyvalent pour le GNL, désormais orienté vers les besoins des véhicules lourds (PL et autocars). Il alimente bien entendu aussi les flottes locales de ferries et de bateaux et connaît une croissance continue. L'export est aussi assuré vers le Royaume-Uni et la Suède. Localement, la distribution se fait au moyen d'une flotte de 22 camions citernes et de deux tankers eux-mêmes alimentés au GNL.

Figure 75. La distribution dense des terminaux GNL en Norvège



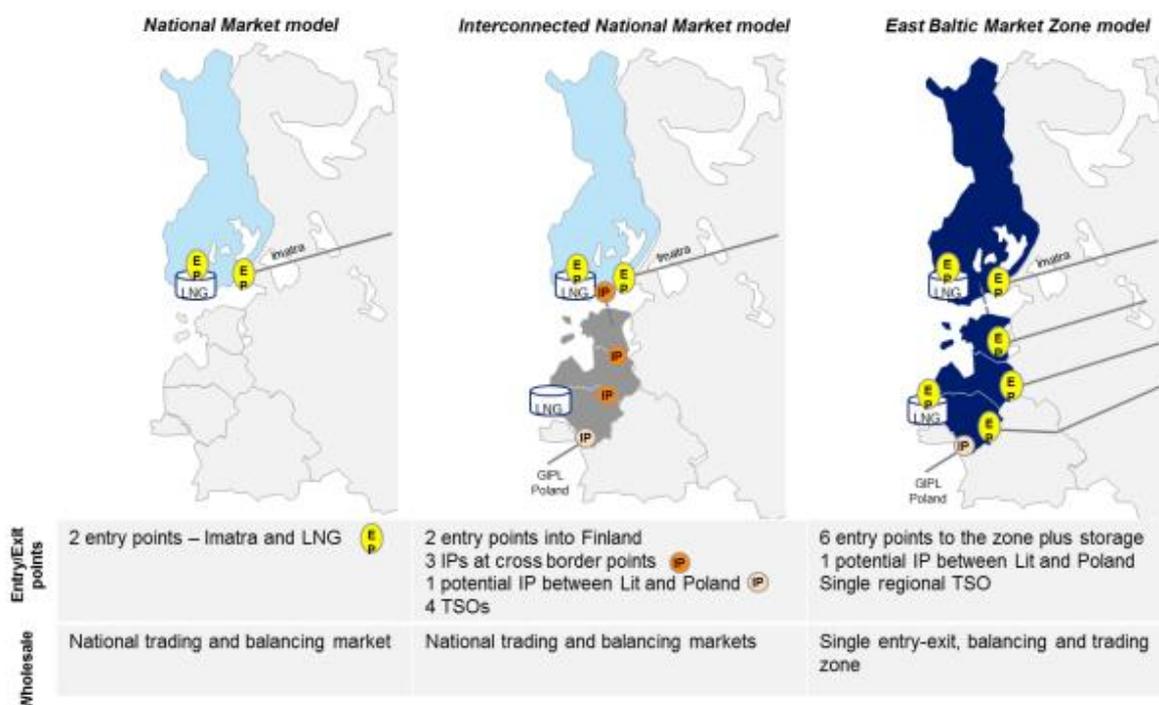
Stockage local de GNL en Norvège

La transition vers le GNL a été appuyée par les appels d’offre publics et les sociétés publiques pour le choix de motorisation des ferries, des pousseurs et des autres navires. Cette technique a été promue comme un consortium national de développement industriel (GNL_Platform_Maritime_Innovation_Norway).

La Finlande, l’enjeu industriel

La Finlande s’est engagée dans l’ouverture de son marché gazier, jusque-là monopolistique. Cette dynamique passe d’une part par l’interconnexion au réseau de ses voisins baltes à travers le Balticconnector (2020 avec l’aide financière de l’UE à 75% des investissement, pour un montant de 187,5 M€) - vers l’Estonie, la Lituanie et la Lettonie et la réalisation du gazoduc Pologne-Lituanie. La construction de terminaux portuaires assure la diversité des approvisionnements sur le marché global.

Plusieurs modèles d’équilibre sont envisagés à ce stade (Fig.76)



Dans cette perspective d’ouverture, le gouvernement soutient la réalisation de quatre terminaux GNL à Tornio (GNL Oy), Pori (Skangass Oy) et à Rauma (Oy Aga Ab). L’investissement doit assurer les besoins nationaux et ouvrir l’accès à cette nouvelle énergie pour les navires et les besoins industriels locaux, alors les importations russes sous forme gazeuses ne permettraient pas un tel usage. Faute de perspective de retour sur investissement, le projet de Finngulf GNL avec un stockage de 300 000 m3 et porté par l’acteur de référence Gasum au sud du pays, à Ingå, a été abandonné en 2015. La recherche d’économie d’échelle passe alors par la coopération. Un autre projet GNL de grande capacité (340 000 m3) est envisagé sur la base d’une mutualisation entre la Finlande (Gasum) et l’Estonie (Alexa Energy) : Finngulf GNL, actif sur deux sites, le plus important étant alors basé en Finlande (port d’Inkoo ou région industrielle de Porvoo) et un site plus petit en Estonie. Les autres chantiers moins ambitieux ont abouti ou sont sur point d’être livrés. Ils bénéficient de marchés terrestres captifs car non connectés au réseau de distribution par gazoducs.

Tableau 11. Les terminaux GNL en Finlande

Terminal	Année de mise en service	Capacité de stockage	Montant de l'investissement	Nom de l'opérateur	Pays
Tornio	2018	50 000 m3	33,15 M€	Manga GNL Oy (JV JV by Outokumpu Oy), SSAB, Skangass Oy and EPV Energia Oy	Norvège
Pori	2016	30 000 m3	23,45 M€	Skangass Oy (51% Skangass AS, 49% Lyse Energi AS (Nv))	Norvège
Rauma	2017	10 000 m3	8,6 M€	Oy Aga Ab filiale Aga AB, (Suède), elle-même filiale de Linde (D)	Suède et Allemagne
Hamina-Kotka	2018	30 000 m3		Haminan Energia)	

Figure 77. Les principaux terminaux GNL et le réseau gazier finlandais



Il reste maintenant à voir si le développement de l'offre de ravitaillement qui se dessine va avoir un effet dynamisant sur le choix de motorisation finlandaise. Pour l'instant, la flotte convertie au GNL reste assez réduite en Finlande : les ferries Vicking Grace entre Turku et Stockholm (2013) et Helsinki et Tallinn (2017) ainsi qu'un bateau garde-côtes. Par ailleurs, le choix du GNL revêt par ailleurs un enjeu industriel. Avec Wärtsilä, l'industrie finlandaise compte un acteur parmi les leaders de la motorisation marine, qui s'est notamment orienté vers la maîtrise des moteurs GNL.

Suède, un accompagnement volontaire du GNL

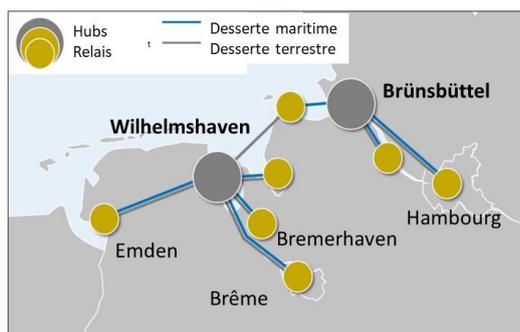
La Suède dispose d'une infrastructure gazière relativement faible (Fig.79). Il compte surtout sur les aménagements du port de Göteborg pour accueillir un terminal gazier qui est envisagé comme un hub de redistribution pour l'ensemble de la région et développe pour ce faire un accord de coopération avec le port de Rotterdam. Ce projet peut compter sur le soutien financier de 34,3 M€ de l'UE au titre de la réduction des gaz à effet de serre dans le cadre des RTE-T.

diversification vers des pays fournisseurs autres que la Russie est aussi un engagement stratégique rappelé à son allié occidental par les Etats-Unis, eux-mêmes intéressés par de possibles exportations. Toutefois, les engagements de longs termes contractés par les acteurs allemands comme leurs confrères européens restreint cette perspective. Aujourd'hui, l'import de GNL se fait depuis l'étranger par voie routière.

Les projets d'investissement de grands terminaux GNL d'importation sont néanmoins sérieusement envisagés afin de préserver l'attractivité des ports allemands. Deux sites sont à l'étude : Wilhelmshaven qui a l'avantage d'une meilleure accessibilité nautique et Brunsbüttel au débouché du canal de Kiel sur l'estuaire de l'Elbe, site qui bénéficie de la proximité des marchés continentaux (Hambourg, Hanovre, Berlin). Pourtant les prix européens inférieurs du gaz et les fortes capacités de stockage déjà installées n'incitent guère à de tels investissements sur le court terme (Merkel, 2017). Leur réalisation relève donc plus d'une stratégie politique de long terme, au titre de la sécurité nationale.

Les directives européennes imposent aux ports maritimes intégrés dans les RTE-T de pouvoir disposer d'une offre en GNL d'ici 2025 selon un réseau hiérarchisé (Fig. 79) et concerne les ports maritimes de Hambourg, Brême, Bremerhaven et Wilhelmshaven en Mer du Nord et de Lübeck et Rostock en Baltique. Les financements nationaux et régionaux peuvent à ce titre être complétés par des aides européennes via le programme *Connecting Europe Facility* (CEF).

Figure 79. Esquisse d'un réseau de distribution de GNL au nord de l'Allemagne à l'horizon 2030 (Source Merkel, 2017)



La réalisation du grand terminal national de Wilhelmshaven avait été annulé en 2008 à la suite de la construction de *Nordstream*. Aujourd'hui, l'idée est reprise avec la réalisation d'un terminal national „German GNL Terminal GmbH“ (le premier du genre en Allemagne) dans l'estuaire de l'Elbe à Brunsbüttel, une position idéale, au débouché occidental du canal de Kiel, pour approvisionner à la fois l'Allemagne du Nord et les riverains de la Baltique et où existe une demande locale avec une importante industrie chimique. Le projet est porté par le néerlandais Gasunie GNL en association avec l'allemand Oiltanking et Vopak GNL. Terminal d'import régional, l'installation a aussi été conçue pour assurer à l'avitaillement des navires. Sa capacité de stockage de 200 000 m³ lors de sa mise en service mi-2022 pourra être accrue et atteindre jusqu'à 2 ou 3 Md m³. Le montant de l'investissement avoisine les 450 M€.

Le GNL dans le port de Hambourg

L'autorité portuaire de Hambourg estime qu'en 2020, 0,5 % et en 2025, 5 % des navires escalant à Hambourg seront alimentés au GNL. Une incitation tarifaire via les droits de port est d'ores et déjà accordée aux unités les moins polluantes, avec des remises pouvant atteindre 3000 €. Soutenu par le Port, le gestionnaire de terminaux à conteneurs HHLA souhaite substituer les générateurs d'électricité diesel par une alimentation au GNL. Le système "Powerpacs" imaginé par *Becker Marine Systems* (Fig.81) avec un soutien public doit être

progressivement généralisé. Il consiste en deux conteneurs de 40 pieds qui sont montés à bord du navire en escale, l'un contenant le générateur d'une puissance de 1,5 MW et l'autre une citerne GNL. Sur un modèle comparable, un petit navire a été conçu pour alimenter en énergie électrique le terminal de croisière du port. Le principe repose sur la conversion à bord du GNL en électricité alimenté par deux citernes conteneurisées de 40 pieds. D'un coût estimé à 13M€, le bateau a été mis en service en 2014 pour le compte conjointe de Becker Marine Systems GmbH & Co. KG et du Groupe Schramm, modèle dont s'est inspiré le port de Kiel « **Blue Port Kiel** » pour alimenter les navires de croisière du groupe Costa via sa filiale Aida Cruise en 2018.

Pour le moment, les modes d'alimentation alternatifs restent toutefois bien en-deçà des espérances. Seuls deux navires de croisière de l'armement Aida font usage du GNL pour la propulsion, l'un dispose d'un moteur auxiliaire alimenté directement par cette source, le second fait usage du GNL pour l'unité génératrice principale. En cause, le coût quatre fois plus élevé du courant de quai à 16 cent/kwh et du fait des contraintes tarifaires qu'introduit la loi allemande sur les énergies renouvelables (EEG).

Les ports de Brême et de Bremerhaven

L'autorité portuaire est signataire depuis 2008 de la "World Ports Climate Declaration" et soutient le déploiement du GNL comme carburant alternatif. Elle donne elle-même l'exemple en équipant sa propre flotte. Ainsi, un premier dragueur a été équipé d'une motorisation au GNL et le reste de la flotte de service devrait suivre d'ici 2020. Les deux acteurs locaux pour les carburants marins Bomin Linde et HGM Energy ont été retenus pour développer des terminaux Small Scale GNL et assurer le stockage et la distribution maritime et terrestre. Des terrains sont réservés à cet effet, la puissance publique attend ici l'initiative privée. Il s'agirait là de réalisations plus modestes en comparaison des deux investissements majeurs que sont Brunsbüttel et à Wilhelmshafen (*Weserkurier*, 24/03/2017).

Lübeck : les avantages de la synergie des installations

Le développement des trafics ferries sur les sites de Lübeck et de son avant-port de Travemünde pose plus que jamais la question de la qualité de l'air. Aussi, la mise en place d'une filière GNL dédiée trouve tout son intérêt dans un débouché maritime qui pourrait aussi profiter au distributeur local de gaz naturel (Stadtwerke Lübeck) avec la diversification de ses approvisionnements et une meilleure flexibilité aux variations de la demande. Le projet d'un terminal GNL fait aujourd'hui mention d'une capacité de stockage de l'ordre de 5000 m³ pour répondre aux besoins.

Perspectives

Malgré les éléments favorables à son déploiement comme carburant marin, le GNL peine à s'imposer en mer Baltique. Arnaud Serry (2017) met en avant la relative passivité des autorités portuaires dans la construction des équipements, qui contraste avec le soutien politique national et européen. Le risque économique dans le cadre d'une demande qui reste très morcelée est sans doute un acteur à prendre en compte. Par ailleurs les grands terminaux GNL pour l'importation ont souvent été construits à l'écart des sites portuaires traditionnels pourtant appelés à traiter les demandes de soutage. Cette distance spatiale et institutionnelle peut alors constituer un frein à la diffusion du GNL.

Mais, il n'est pas dit que la multiplication des initiatives, l'accroissement continue des équipements portuaires qui maillent désormais la région et le fort soutien politique dont jouit cette technique ne finisse pas par amorcer une réelle mutation vers le GNL. L'intensité des interrelations entre partenaires est un avantage pour la diffusion de cette technique mais aussi le symptôme d'une réelle fragmentation. Si certaines de ses caractéristiques sont communes avec la mer du Nord voisine : importance des trafics régionaux, et

nœud énergétique important du Grand Delta du Rhin-Escaut dans l'équipement du GNL (de Dunkerque à Groningue), les plus faibles volumes à traiter sont ici plutôt un handicap.

Le GNL marin en Méditerranée

Les évolutions réglementaires du secteur maritime qui visent à faire utiliser des carburants marins dont le taux de soufre ne dépasse pas 0,5 % n'épargnaient pas les pays riverains de la Méditerranée où beaucoup d'acteurs maritimes sont concernés. Mais face à la question de l'utilisation du GNL comme carburant marin, tous les pays et les ports de cette mer semi-fermée ne sont pas en mesure de mettre en place la logistique nécessaire à l'utilisation de ce nouveau carburant. Dans notre approche, nous avons choisi de faire référence à deux pays méditerranéens ayant beaucoup de ressources en GNL (Algérie et Égypte) et à deux pays méditerranéens de l'Europe du Sud ayant un réel potentiel de mobilisation (Italie et Espagne).

L'Algérie, une longue tradition d'exportation du GNL

L'Algérie avait construit une des premières usines de liquéfaction du gaz naturel au monde, conçue pour l'export industriel par voie maritime. De nos jours, le pays compte 4 grandes unités de liquéfaction de GNL, dont 3 à Arzew (projets GNLz1, GNLz2 et GNLz3 avec une capacité globale de 46 M m³ cube) et un à Skikda (10 M m³). Symétriquement, plusieurs terminaux de regazéification ont été construits sur les côtes de l'Espagne, de la France, de la Turquie, de la Grèce ou de l'Italie (terminaux de Panigaglia et de Porto Viro). L'Algérie se positionne aujourd'hui encore comme le 3^{ème} fournisseur de gaz de l'Europe

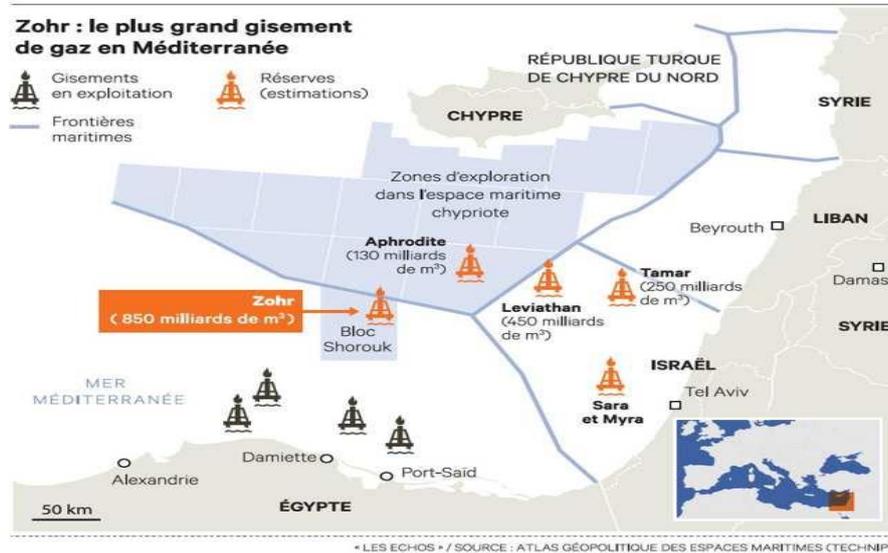
La société nationale algérienne Sonatrach (recherche, production, transport, transformation, et commercialisation des hydrocarbures), opère dans le domaine du transport maritime, via sa filiale Hyproc Shipping Company. Elle investit depuis quelques années dans une flotte moderne de navires, dispose de huit navires de transport de GNL, à côté de six navires de transport de Gaz de Pétrole Liquéfié (GPL) et deux bitumiers. Une stratégie qui vise à renforcer et accroître son rôle de pays exportateur de GNL et à diversifier ses marchés hors de l'Europe, vers l'Asie ou le Brésil. Un important succès commercial a été la signature avec Turquie d'une livraison de 4 Md de m³ jusqu'en 2024. Afin de suivre le rythme des demandes accrues et pour remplir ses engagements internationaux à l'exportation, l'Algérie a intensifié les activités de forages de puits, dont le nombre est passé de 93 en 2013 à 116 en 2014.

L'Égypte, une complémentarité pétrole/gaz comme levier de développement

L'Égypte aujourd'hui est le cinquième producteur de pétrole en Afrique et le deuxième de gaz. Des découvertes récentes ont permis d'envisager une production supplémentaire de gaz alimentant ses capacités exportatrices. Ses nouveaux équipements lui permettent de devenir une plateforme d'exportation pour l'évacuation du gaz d'Israël et Chypre ou vers l'Europe et/ou d'autres marchés. Après avoir mené des travaux exploratoires en Égypte en 2015, le groupe énergétique italien Eni a réalisé la plus grande découverte de gaz naturel jamais réalisée en Méditerranée : un gisement de gaz avec un énorme potentiel gazier récupérable et c'est ainsi que le projet Zohr a vu le jour, un important gisement en Méditerranée situé dans la concession de Shorouk, à environ 190 km au nord de Port-Saïd à 1 450 mètres de fond.

La réserve estimée du champ gazier de Zohr est estimée à 850 Md de m³, équivalent à une production journalière de 70 à 80 millions de mètres cubes. Cette découverte s'avère être intéressante aussi du fait que la ressource se situe à proximité d'infrastructures existantes et sous-utilisées d'où la possibilité de développer le gisement rapidement et à moindres coûts.

Figure 80. Les nouvelles zones de gisements de gaz naturel en Méditerranée orientale



Bien que la découverte du gisement ait été effectuée par la société d'énergie italienne Eni, cette dernière a cédé en 2017 une partie de ses droits à Rosneft (30%) et à BP (10%) pour en conserver 60% suivant la répartition Ainsi Eni (60%), Rosneft (30%) et Belayim Petroleum (10%). Ces énergéticiens sont déjà actifs dans l'exploitations d'autre gisements dont dispose le pays : West Nile Delta, North Damietta et Mediterranean Deepwater offshore North en mer et Giza/Fayoum sur la terre.

Selon le journal en ligne *Égypte Independent*, la constitution d'un comité chargé de préparer une étude approfondie en vue l'utilisation maximale du GNL comme carburant a été constituée. Il aurait pour objectif de faire de l'Égypte une plaque tournante régionale de l'énergie avec la possibilité de faire tourner les navires du pays au GNL et surtout d'offrir un soutage aux unités en transit via le canal de Suez.

L'Italie, un soutien actif à l'utilisation du GNL comme carburant marin

L'Italie produit 10 % de ses besoins en GNL et importe le solde en de provenance différentes comme la Russie au premier rang, l'Algérie et le Qatar. Si les pays méditerranéens de l'UE effectuent des recherches pour développer l'utilisation du GNL pour les différents modes de transport, l'Italie s'est déjà positionnée sur la le GNL comme carburant marin avec le développement associé des infrastructures et des bases dans tout le pays.

Diverses politiques ont été mises en place :

- Identification des normes et procédures qui combinent les dimensions techniques et économiques et qui soient communes à tous les ports : un état des lieux, feuille de route pour l'approvisionnement, le stockage et la fourniture du GNL ;
- Définition d'un système intégré de distribution du GNL par la création de plusieurs modèles :
 - o un modèle d'optimisation du réseau maritime pour l'approvisionnement,
 - o un modèle de localisation des sites de stockage dans les ports de destination,

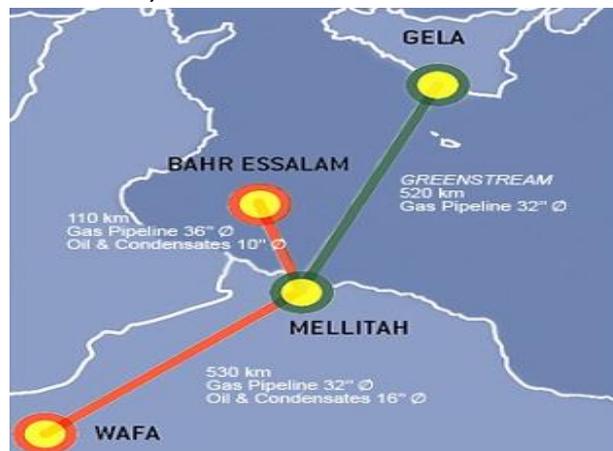
- un modèle de distribution interne dans les territoires les moins équipés.
- Mise en œuvre d'une action pilote de réalisation de stations mobiles de stockage et d'approvisionnement dans les ports commerciaux : barge (sur plan d'eau) ou container (sur terre) ;
- Encouragement de l'adoption du GNL pour les opérations portuaires et maritimes, directement ou indirectement liées au transport maritime et aux activités se déroulant dans la zone portuaire.

Les principales liaisons méditerranéennes de l'Italie pour s'approvisionner en GNL

Le gazoduc en Italie a vu la naissance de plusieurs projets qui permettent aujourd'hui de relier l'Italie à ses voisins, notamment à travers le projet Transmed (ENI en partenariat avec Sonatrach) entre l'Algérie et l'Italie via la Tunisie. Long de 2 500 km, dont 171 en eau profonde, il permet l'acheminement du gaz des champs du Sud algérien vers l'Europe. Grâce à cette infrastructure, la part du gaz algérien dans le bilan des importations gazières de l'Italie est passée de 14% en 1983 à plus de 36% en 2007. Elle a favorisé l'usage du gaz naturel dans le bilan énergétique italien ainsi qu'à la diversification de ses approvisionnements. Parallèlement, le poids de l'Italie dans les exportations algériennes de gaz est prépondérant avec plus de 40% des exports. La capacité de transport du gazoduc Transmed a connu un accroissement de près de 25%, en deux phases, de 27 milliards de m³/an à 33,5 milliards de m³/an au moment de la réalisation de l'exécution totale du projet, début octobre 2008.

Cette liaison est complétée par le projet Greenstream qui relie la Libye à la péninsule et a été inaugurée en octobre 2004 pour 6,6 Md \$. C'est le plus long gazoduc (540 km) réalisé en Méditerranée, partant de la station de compression de Mellitah, à l'ouest de Tripoli pour arriver au terminal de réception de Gela au sud de la Sicile atteignant une profondeur maximale est de 1127 m. Il est alimenté par le champ offshore de Bahr Es-Salaam, le champ offshore de Bourri et le champ onshore de Waha près de la frontière algérienne, à 530 km de Mellitah est offre une capacité annuelle actuelle de 8 Md de m³ qui pourra être portée à 11 Md.

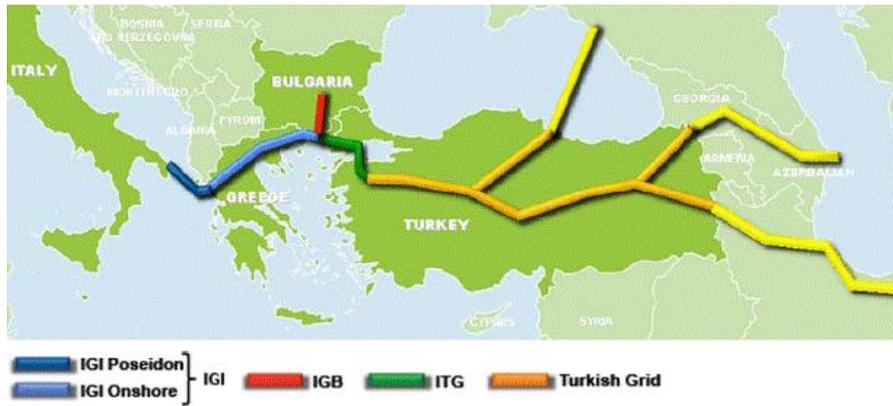
Figure 81. Les gazoducs entre la Libye et l'Italie



Source : <http://www.projectpipelines.org>

D'autres projets sont à l'étude, tels que le **projet ITGI** (Interconnections Turquie-Grèce-Italie, destiné à acheminer du gaz de la région caspienne jusqu'en Europe a été établi entre la Turquie, la Grèce et l'Italie. Ce protocole d'accord permettra à l'Europe de disposer d'une voie d'approvisionnement supplémentaire, via la Turquie.

Figure 82. Les projets d'interconnexions dans l'est du bassin méditerranéen



Source : <http://www.pipelinesitgi.org>

Des infrastructures portuaires existantes et destinées à renforcer l'utilisation du GNL comme carburant marin

Une fois assuré l'approvisionnement en GNL, les infrastructures portuaires permettant l'utilisation du GNL comme carburant marin sont de plus en plus nombreuses.

Figure 83. Les installations GNL dans les ports italiens



Source : Green Port Congress - Venice , 12 October 2016 - Livorno Port Authority presentation

L'Espagne, un pays méditerranéen très orienté vers le GNL

Selon les analyses de Global Data, l'Espagne occupe la première place sur le marché de la regazéification dans l'U.E avec 39% de la capacité grâce à ses 7 terminaux (contre 4 en France, 3 en Italie, et 1 aux Pays-Bas, en Belgique et au Portugal).

Figure 84. Les grands terminaux GNL espagnols



Terminals	Date de création	Opérateur	Nb de réservoirs	Capacité de Stockage (m3)	Capacité d'acheminement (milliards m3/an)	Activités
Barcelona	1969	Enagas S.A	6	840000	17.1	Regazéification / Chargement remorques/ Liquéfaction et gazeification/approvisionnement en carburant des navires
Cartagena	1989	Enagas S.A (et propriétaire)	5	619500	11.8	Regazéification / Chargement remorques et navires/ Liquéfaction et gazeification/approvisionnement en carburant des navires
Huelva	1988	Enagas S.A (et propriétaire)	5	619500	11.8	Regazéification / Chargement remorques et navires/ Liquéfaction et gazeification/approvisionnement en carburant des navires en progression
Bilabao	2003	Bahia de Biskaia Gas (BBG)	3	450000	8.8	Regazéification / Chargement remorques et navires/ Liquéfaction et gazeification/approvisionnement en carburant des navires
Sagunto	2006	SAGGAS	4	600000	8.8	Regazéification / Chargement remorques et navires/ Liquéfaction et gazeification/approvisionnement en carburant des navires en progression
El Muesel		ENAGAS (et propriétaire)	2	actuel, 600000 dans	8.8	Regazéification / Chargement remorques et navires/ Liquéfaction et gazeification/approvisionnement en carburant des navires en études

Source : King and Spallding , LNG IN EUROPE 2018 An Overview of LNG Import Terminals in Europe

En Espagne, le GNL est une technologie éprouvée depuis près de 45 ans Son usage comme carburant est favorisé par l'existence de ces terminaux méthaniers opérationnels, le quart des sites européens. Le pays joue sur sa localisation pour avitailler les navires en GNL. Il se positionne notamment sur l'avitaillement des nouveaux navires de croisière du groupe Costa Croisières.

L'Espagne compte de grands opérateurs :

- **Enagás** est le groupe espagnol qui contrôle le plus grands nombre de terminaux GNL. Il est présent à travers ses terminaux de regazéification en Espagne : Barcelone, Huelva, Gijón, Bilbao (50%) et Sagunto (72.5%), mais aussi en Amérique Latine, au Mexique (TLA Altamira, 40%) et au Chili (GNL Quintero) ;

- **Reganosa** est un acteur spécialisé dans le transport et la regazéification du gaz naturel. L'entreprise détient notamment le terminal de Mugardos (El Ferrol) avec 2 réservoirs de 150000 m³ et une capacité de production de 3.6 milliards pied de cube /année, il couvrait environ 14% de la demande du gaz naturel en Espagne en 2014. Première opération de soutage dans le port de Barcelone par l'opérateur FENOSA pour le soutage en GNL via le navire "Abel Matutes".

La première opération de soutage GNL de navire a été réalisée dans le port de Bilbao en février 2018. L'opération a été assurée par le navire "Monte Arucas" construit par le Néerlandais FERUS SMIT, un navire qui fait 110 m de long avec 2 réservoirs de 300 m³. Le port de Carthagène dispose d'une unité duale assurant à la fois l'approvisionnement en GNL et en Diesel marin est en cours de réalisation à l'initiative de l'énergéticien Repsol.

Au fur et à mesure que le marché se développe, l'avitaillement par barges et par navires souteurs s'ajuste. Les ports concernés par ces projets sont les ports de Barcelone, Bilbao et Ferrol. Sur les trois ports, on parle de quelques navires de soutage à titre exploratoire.

- La barge "Monte Arucas" qui sera responsable de la fourniture du gaz naturel liquéfié avec des réservoirs disposés sur le pont. Elle sera opérationnelle sur le port de Huelva.
- La barge polyvalente de Suardiaz qui sera opérationnelle sur le port de Barcelone et qui sera développé pour pouvoir agir dans n'importe quel port.
- Le navire de Genova (qui aura la possibilité d'être autonomie de circulation de 1800 km et de pouvoir opérer loin des côtes espagnoles).
- Basé à Barcelone, le Projet CoreLNGas relève d'une initiative cofinancée par la commission européenne. Son objectif du projet est de développer à titre expérimental une chaîne logistique intégrée, fiable et efficace pour l'approvisionnement du GNL comme combustible dans le secteur du transport et plus spécifiquement le transport maritime. Il est appelé à être reproductible dans toute la Péninsule Ibérique pour être étendu aussi bien aux navires qu'aux zones portuaires.

L'option GNL dans les ports français

L'établissement tardif d'un schéma national en 2016

Mise en place en 2012, la **Mission de coordination pour l'emploi du GNL comme carburant marin** avait adressé des préconisations aux services de l'État à travers 4 rapports qui se sont échelonnés entre 2013 et 2016⁹ :

- Rapport de la mission de coordination interministérielle sur le GNL carburant marin - Février 2013 ;
- Rapport d'étape de la mission de coordination interministérielle sur le GNL carburant marin - Septembre 2014 ;
- Rapport de la mission de coordination interministérielle sur le GNL carburant pour le transport routier - Septembre 2015 ;

⁹ <https://www.platformegnl.fr/documentation/>

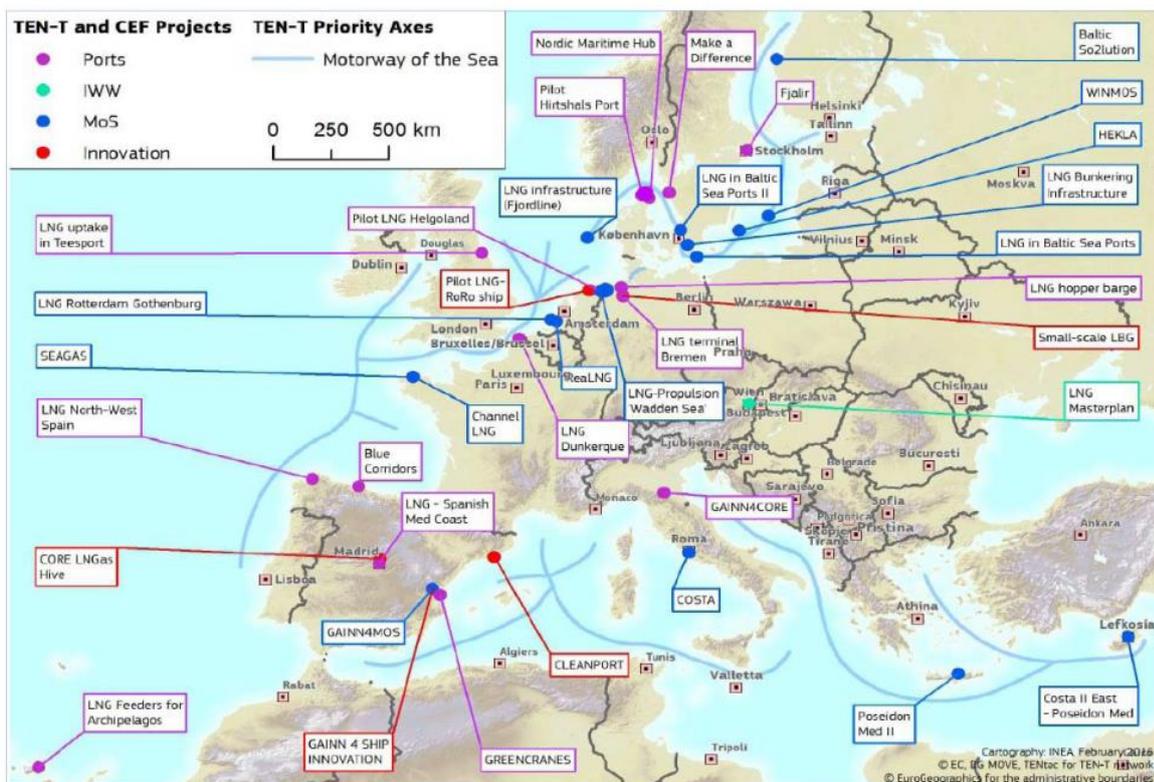
- Rapport de la mission de coordination interministérielle sur le GNL carburant pour le transport fluvial - Octobre 2016.

Une étape importante est intervenue avec la dernière publication, en 2016, celle du « Schéma d'orientation pour le déploiement du gaz naturel liquéfié (GNL) comme carburant marin ».

Ce travail cherche à répondre à une double obligation :

1. **L'engagement européen** en faveur du déploiement d'infrastructures pour les carburants alternatifs au titre des RTE-T (Fig.82) qui doivent être équipés d'ici 2025 (directive 2014/94/UE) et la limitation de la teneur en soufre des combustibles marins (2012/33/UE) de 0,1% en zone SECA et de 0,5 % pour le reste des eaux européennes après 2020. Le Livre vert du 27 mars 2013 fixe des objectifs en matière d'énergie et de climat à l'horizon 2030 et 2050 : pour atteindre une réduction de 80 à 95% des émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2050, un seuil de réduction de 40% par rapport à 1990 doit être respecté d'ici à 2030.
2. **La loi française** d'orientation relative à la transition énergétique pour une croissance verte du 17 août 2015 en vue de la réduction des GES

Figure 85. Les projets GNL financés par le programme RTE-T entre 2007 et 2015 (Source INEA)



Nb. le projet SAFE SECA (Haropa et autres ports) n'ont pas été reportés.

Figure 86. Les terminaux GNL en France et dans l'UE (état février 2019) Source - EU Commission



La Directive européenne 2014/94/UE, dite CABAL (*CARBurant Alternatif, anglais, DAFI pour Directive on the Deployment of Alternative Fuels Infrastructure*) exige que chaque Etat-Membre définisse, au plus tard le 18 novembre 2016, un cadre d'action national pour le développement du marché des carburants alternatifs dans le secteur des transports avec le déploiement des infrastructures correspondantes (CANCA).

Sur le territoire français, le réseau central RTE-T compte **7 ports maritimes** : Dunkerque, Calais, Le Havre, Rouen, Nantes Saint-Nazaire, Bordeaux, Marseille-Fos), **11 ports intérieurs** : Dunkerque, Le Havre, Rouen, Marseille-Fos, Paris, Lyon, Chalons-sur Saône, Metz, Mulhouse, Strasbourg, Lille (les 4 premiers sont aussi maritimes).

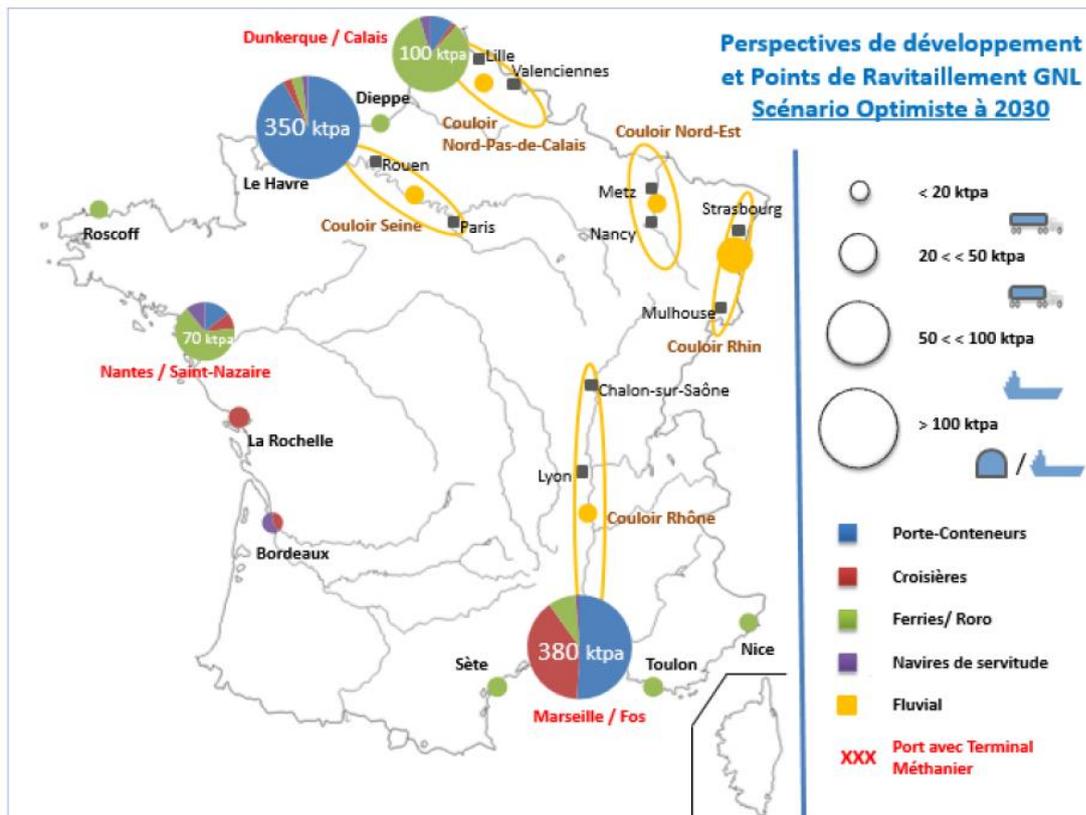
Le document rappelle les diverses sources financières susceptibles d'être mobilisées pour soutenir l'effort des acteurs du domaine :

- Le programme d'investissement d'avenir (PIA) dans le cadre des projets « véhicules du futur » ; des appels à manifestation d'intérêt « Navire du Futur » lancés en 2011, 2013 et 2015, notamment au titre de la recherche industrielle (entre 50 et 70% des coûts sont éligibles), de même que l'appel à projets « ferry propre » de 2014 (doté de 80M€).
- Les réseaux transeuropéens de transport (RTE-T) ouvrent la voie aux financements des grands corridors multimodaux (avec des aides pouvant porter sur 60% du budget) ; à cela s'ajoutent des

moyens spécifiques pour le GNL via le soutien européen aux autoroutes de la mer, à l'innovation et aux nouvelles technologies.

La DGTIM développe l'idée d'une **stratégie par façade** et se propose d'accompagner le montage et le suivi des demandes des opérateurs coordonnant l'Association française du gaz (AFG), Armateurs de France et l'Union des ports de France.

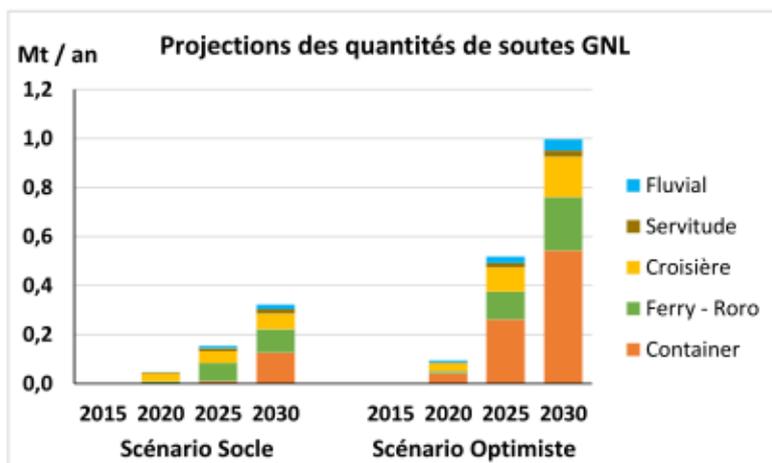
Figure 87. Le futur réseau français de soutage GNL (Source : AFG, 2016)



Outre l'importance des investissements à consentir, l'aspect réglementaire doit être soit en créant de nouvelles règles pour les opérations d'avitaillement ou en adaptant les règles existantes à de nouvelles activités (réglementation portuaire et stockages à terre).

Une étude réalisée par l'Association française du gaz (AFG) en juillet 2016, évaluait le marché français du soutage GNL entre 0,3 et 1 Mt, à l'horizon 2030 (Fig. 88). La demande pourra être satisfaite sans problème dans tous les ports français du réseau central RTE-T à partir des terminaux méthaniers existants dont les volumes « sont bien inférieurs à 10 % des capacités des terminaux français à cet horizon ».

Figure 88. Estimation des besoins de GNL pour le soutage en France



L'enjeu du GNL est enfin industriel car une nouvelle filière est à construire à partir de maillons où la France est plutôt bien située. Les chantiers navals de Marseille ont vocation à assurer l'entretien et les réparations des grands paquebots et des grands navires GNL et les chantiers STX construisent des paquebots GNL. La société d'ingénierie GTT, qui est le leader mondial des solutions de confinement pour le transport et le stockage du GNL, se positionne aujourd'hui sur la partie bunkering. De plus, la France est en avance dans le domaine du GNL. Air Liquide produit des groupes réfrigérant pour maintenir le GNL à basse température. On peut citer enfin des entreprises comme TechnipFMC ou Trelleborg, qui produisent des flexibles, ou encore des entreprises comme Sofresid, Cryostar, Saipem, Sofregaz et la filiale française du groupe norvégien LMG Marine.

Une préfiguration des services par façade

La France dispose d'équipements de stockage GNL significatifs sur chacune de ses façades métropolitaines : les terminaux méthaniers de Fos Tonkin et de Fos Cavaou en Méditerranée, de Montoir de Bretagne sur la côte atlantique et le terminal méthanier de Dunkerque en Manche – Mer du Nord.

- En fonction des obligations introduite par la zone SECA, la priorité est donnée à la **Manche – Mer du Nord**. L'ouverture du terminal méthanier à Dunkerque a été accompagné d'une étude pour adapter l'infrastructure à l'avitaillement GNL, terrestre et maritime dès 2011 (financement de 50% de l'étude dans le cadre des RTE-T). Un appel à manifestation d'intérêt a permis de désigner Air Liquide comme porteur du projet avec la réalisation d'une station de chargement pour camions-citernes, puis d'une station d'avitaillement pour navires en se servant de l'appontement existant, enfin d'une station-service GNL pour le transport routier en transit dans le port.
- Comme porte d'entrée des autoroutes de la Mer, le GPM Nantes-Saint-Nazaire dispose des infrastructures nécessaires à Montoir-de-Bretagne, où il est déjà possible d'avitaillement des camions en GNL (via ELENKY, la filiale d'Engie). Des études envisagent la possibilité d'accroître la capacité de traitement du site et de développer des stations satellites dans d'autres ports **de la façade atlantique**.
- La densité des trafics maritimes de courtes distances assure un débouché important et renforce l'attractivité croissante de Marseille-Fos. Les ports partenaires, sur les deux rives de la **Méditerranée** sont également bien dotés et l'on peut citer le projet COSTA (*CO2 & Ship Transport emission*

Abatement by GNL) porté par l'Espagne, le Portugal, l'Italie et la Grèce et auquel la France est associée). Le GPM de Marseille FOS est partie prenante du projet européen GAINN (France via Elengy, Portugal, Espagne Italie, Slovénie et Croatie) pour créer un maillage cohérent de soutage GNL au Sud de l'Europe. Le basculement attendu de cet espace maritime dans une zone SECA renforcerait encore l'attrait pour le GNL. Le terminal de Fos Tonkin est accessible aux camions-citernes et laisse envisager des chargements GNL sur des unités fluviales via le canal de Fos à Aix-en-Provence. Fos Cavaou permet aussi des solutions d'avitaillement directes.

De la Mission ministérielle de coordination à la PTF française du GNL carburant

La Mission ministérielle de coordination sur l'emploi du GNL comme carburant marin, fluvial et routier a été créée en 2012a cessé ses activités fin 2016. Le rapport de l'AFG a alors appelé à la mise en place d'une structure professionnelle fédérant les acteurs de la filière en vue d'actions concrètes, à l'instar de ce qui existe dans d'autres pays européens (Allemagne, Pays-Bas, Espagne, Norvège...).

Le ministère reste néanmoins actif sur le dossier en accompagnant les acteurs dans le financement de leurs projets, en défendant les intérêts français au sein des instances européennes et en promouvant une réglementation européenne harmonisée. Il appuie la mise en place d'une filière nationale, adaptée et performante.

Lancée en avril 2017, la *Plateforme française du carburant GNL marin et fluvial* a pour objectif de promouvoir l'usage du GNL carburant pour les navires et les bateaux. Ses principales missions sont l'animation de la filière, l'accompagnement des projets et la mise en place des règles professionnelles (Fig.85). Elle compte 7 membres fondateurs – l'AFG (*Association française du gaz*), *Dunkerque GNL*, *Engie*, *Gas Natural Fenosa*, *Grand Port Maritime de Dunkerque*, *GTT et Total Marine Fuels Global Solutions* – et 24 membres associés : Armateurs de France/BP2S, Brittany Ferries, Bureau Veritas, Chart Ferox, Cluster Maritime Français, Comité des armateurs fluviaux, Compagnie Fluviale de Transport, Compagnie du Ponant, CMA-CGM, DNV-GL, Elengy, Evolen, Gazocéan, GICAN, Grand Port Maritime de Marseille, Comité Marseillais des armateurs français, Cruise Club Marseille Provence, Grand Port Maritime de Nantes Saint-Nazaire, Haropa, Sofresid, Technip-FMC, Union des Ports de France, Voies navigables de France et LMG Marine.

Figure 89. Les logos des membres de la Plateforme française du carburant GNL marin et fluvial

La Plateforme GNL



7 Membres fondateurs
23 Membres associés



Les ports français seront-ils prêts ? La situation au printemps 2019

Soutage GNL à Dunkerque

Le port de Dunkerque a inauguré en 2017 l'un des plus grands terminaux méthaniers d'Europe avec trois réservoirs de stockage de 190 000 m³ (60 mètres de hauteur et 90 mètres de diamètre). Le terminal pourra accueillir les plus grands méthaniers du monde, d'une capacité allant jusqu'à 270 000 m³.

Les travaux achevés fin 2018 ont livré une station d'avitaillement pour camions-citernes, dimensionnée pour recevoir jusqu'à 3 000 camions par an (60 000 t de GNL). A travers une convention, l'autorité portuaire accompagne Dunkerque GNL dans son engagement pour construire puis exploiter la station de chargement dans le cadre d'un projet plus global de mise en place d'un service d'avitaillement GNL.

En revanche, l'avitaillement des navires type porte-conteneurs exige des investissements plus importants. D'une part, il faut investir dans des navires souteurs d'au moins 5000 à 7000 m³ de GNL, un investissement estimé à 40 à 50 millions d'euros, difficile à rentabiliser rapidement s'il y a peu de demande. D'autre part, les compagnies de transport maritime font face à l'heure actuelle à des surcapacités de transport et des marges faibles, tandis que les investissements sur une ligne régulière concerneraient d'emblée 7 à 8 porte-conteneurs (<https://www.newsletterdunkerqueGNL.com>, du 25/1/2018).

Un accord avec Total Marine Fuels Global Solutions (TMFGS) a été signé en 2018 entre l'entité du groupe Total en charge de la commercialisation de carburant marin, pour alimenter le *Honfleur*, premier ferry français propulsé au GNL, qui assurera la liaison entre Ouistreham (Normandie) et Portsmouth (Angleterre) à partir de 2019. Les citernes (iso-conteneurs) de GNL remplies depuis la station d'avitaillement du terminal de Dunkerque GNL seront acheminées par camions au port de Ouistreham avant d'être grutées à bord des

navires grâce aux portiques installés à cet effet. Ces containers permettront d'alimenter un réservoir fixe de stockage GNL situé à l'arrière du navire. (Extrait de la *Newsletter-Dunkerque-GNL-47* - octobre 2017).

Soutage GNL Le Havre

Le projet SAFE SECA (*Study for Alternative Fuels and Experiment in SEine and Channel Area*) lancé par Haropa (2013) porte sur l'ensemble de l'axe Seine avec les ports de la façade de Caen à Fécamp (étude de 1M€ soutenue au titre des RTE-T). Il avait pour objet l'étude des risques liés à l'avitaillement GNL et les plans de formation du personnel portuaire. Il a trouvé son prolongement dans une étude sur l'analyse socio-économique des futurs schémas logistiques pour les ports Haropa.

Un premier avitaillement a pu être réalisé au Havre en mai 2016 par des camions-citernes vers un paquebot de croisière, pour l'alimentation de groupes électrogènes. Le port doit donc aujourd'hui palier l'abandon de la construction du terminal méthanier que Gaz de Normandie projetait de construire sur le site portuaire d'Antifer en 2011.

Soutage GNL Nantes-Saint-Nazaire

En 2013, Nantes Saint-Nazaire Port et Elengy ont porté le projet ATLAS (ATLantic GNL As fuel Supply). Il s'agissait d'une étude technique et commerciale d'une offre de GNL carburant à partir du terminal de Montoir, afin de positionner le port comme une référence de la façade atlantique pour l'approvisionnement par camion citernes et par navires avitailleurs. Leur nombre est passé en 2017 à 18 chargements par jour pour répondre à la demande des industriels non embranchés, des stations GNL et du soutage des petits navires (www.elengy.com).

La remotorisation des navires shortsea et de servitude.

Le programme "Toward Blue Atlantics Arch by 2025" dont le premier projet baptisé SamueGNL a été lancé fin 2016. Coordonné par le GIE Dragages Ports et cofinancé par l'Union européenne au titre du Mécanisme pour l'interconnexion en Europe (MIE), il vise à remotoriser les bateaux utilitaires, actifs essentiellement dans les ports et sur les fleuves, dans des espaces particulièrement sensibles à la pollution.

Le GIE Drague et Port a été fondée en 1979 par six ports français pour optimiser l'importante charge financière que représente le dragage. Il s'interrogeait depuis longtemps sur la manière de réduire leurs émissions au-delà des réglementations européennes. La remotorisation au GNL du « Samuel-de-Champlain », une drague de 117 m est une première. Le projet SamueGNL (Spanish/French Sustainable Atlantic Motorways of the seas Using as fuel for Engine). Elle est réalisée par les chantiers Danem à Dunkerque comprend aussi un volet formation des personnels sur l'avitaillement en GNL à Rouen et à Saint Nazaire. L'opération rassemble 12 acteurs implantés sur l'arc atlantique. En sus des autorités portuaires apparaissent Inova et Ghenova, spécialisées dans la conception et l'ingénierie navale, ainsi que les fournisseurs d'énergie Energias de Portugal et Gas Natural Fenosa. L'armement espagnol Suardiaz figure également au sein du consortium. (extrait de l'Antenne, Érick Demangeon, Vendredi 3 Mars 2017).

Soutage GNL Marseille-Fos

Elengy, et sa filiale Fosmax GNL, propriétaire de Fos Cavaou, adaptent les installations du terminal. Elle installe une station de chargement de camions citernes (11 opérations par jour en 2018) et modifie l'apportement pour y proposer un nouveau service de chargement de petits méthaniers de moins de 20 000 m³. Ces travaux de 2M€ (bras de transfert, dispositifs d'amarrage, moyens d'accès à bord...) arrivent à terme

en juin 2019 et permettront d'alimenter les navires dans le dans le port de Marseille-Fos ou encore d'autres sites en Méditerranée (<http://www.petrole-et-gaz.fr>, mai 2018). Des réflexions sont en cours pour un développement similaire sur le terminal de Fos Tonkin pour répondre aux besoins d'avitaillement des bateaux de croisière. Le site a réalisé le chargement de 3 473 camions citernes en 2018 (en hausse de 85% par rapport à l'année précédente). Un investissement de 6 M€ permettra d'en double la capacité (www.usinenouvelle.com, 1/3/2019).

La pression potentielle des armements :

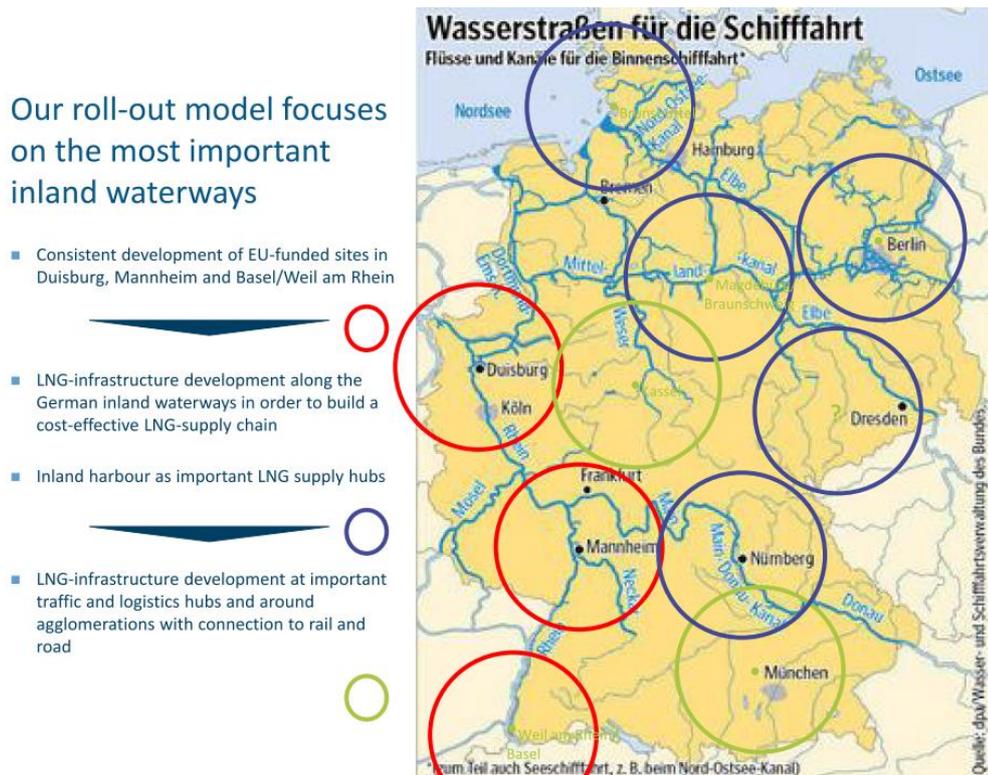
Pionnière en la matière, la CMA-CGM a reçu fin 2018 un petit porte-conteneurs de 1400 EVP qui sera mis en service entre le Maroc et l'Europe du Nord, trois autres devraient le suivre. En 2020, 9 porte-conteneurs de 14 000 EVP propulsés au GNL seront progressivement mis en circulation, soit 18.600 m³ de GNL stockés sous le château avant (2x plus que le fuel lourd). Ce volume permet un aller et retour entre l'Europe et la Chine, ligne sur laquelle ces navires seront exploités à partir de 2020, avec un seul soutage dans les ports nord-européens. Les ports qui ne seront pas en capacité de les avitailler risquent de se voir écartés des services de l'armateur.

Et le fluvial ?

Les éléments de la transition du transport fluvial au GNL en France restent rares. Les sociétés Ségula et GRDF ont annoncé avec leurs partenaires le projet de navette fluviale à propulsion hybride biogaz/électrique en région parisienne à l'horizon 2020 pour répondre aux besoins de la logistique urbaine. L'initiative vient plutôt du Rhin, où la densité de trafic pourrait justifier cette évolution. Or, même là, les projets peinent à trouver encore une réalisation. En 2013, trois grands ports du Rhin Supérieur - la *Hafengesellschaft Mannheim* (HGM), le Port autonome de Strasbourg (PAS) et les *Schweizerischen Rheinhäfen* (SRH) se sont concertés en vue de l'introduction du GNL (gaz naturel liquéfié). Cette initiative a été déclenchée dans le cadre du projet RTE-T "Schéma directeur GNL pour le Rhin-Main-Danube" qui a bénéficié d'un soutien de 50 % de l'Union Européenne - la partie des SRH étant cofinancé à 50% par la Confédération Suisse et les cantons de Bâle Ville et Bâle Campagne. Il s'agit-là d'une étape préparatoire qui n'a pas donné lieu à des réalisations concrètes du fait de l'absence de demande. Le Port Autonome de Strasbourg explore également d'autres autres voies dans le gaz, comme le GTL (*Gas to Liquid*) – liquide de synthèse obtenu à partir du méthane (Methanol) – plus facilement transportable que le GNL mais avec un pouvoir énergétique qui est la moitié du diesel à volume équivalent.

Aujourd'hui, deux ports rhénans sont équipés d'un terminal dédié. Celui de Cologne (Niehler Hafen) en lien avec le groupe Shell et plus récemment (2019) celui de Duisbourg en partenariat avec l'énergéticien RWE pour le transport routier. A Cologne, l'approvisionnement est assuré par des bateaux par des rotations de produits entre les sites de Rotterdam et Cologne où Shell dispose d'une importante raffinerie. Le groupe anglo-néerlandais développe sa flotte fluviale au GNL et s'appuie sur des soutage *truck to ship* pour les rotations Rotterdam-Bâle. La flotte propulsée au GNL reste encore confidentielle sur le Rhin, et l'unique unité GNL de Danser, "Eiger-Nordwand" a été reconverti au diesel ! Toutefois, la politique fédérale de remotorisation verte annoncée par le *Master Plan Binnenschifffahrt* (printemps 2019) pourrait rapidement changer la donne et conduire à un progressif maillage de l'offre (Fig. 90).

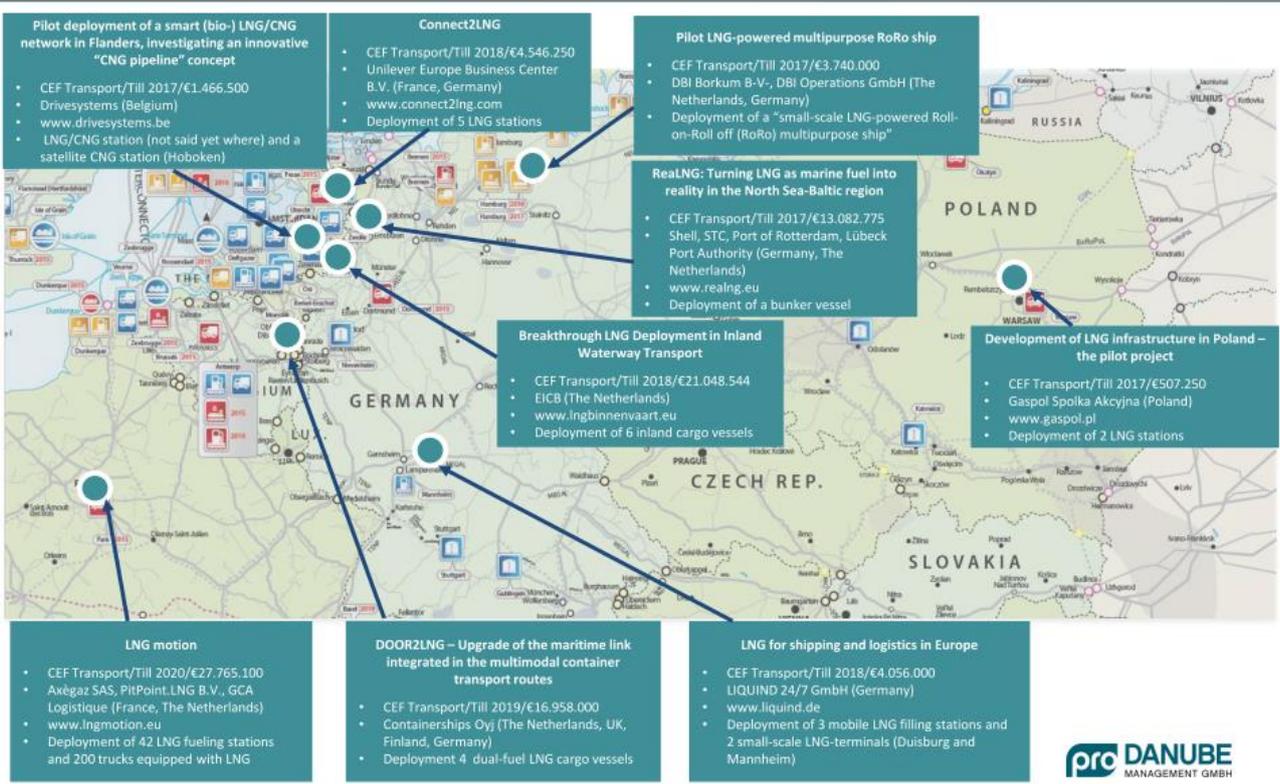
Figure 90. Une esquisse des implantations des stations GNL pour le transport fluvial en Allemagne (Liquid, 2017)



La marinisation de moteurs de poids lourds GNL est une opération qu’il est techniquement difficile à mener, vu la spécificité des automatismes introduits pour la conduite routière. Car avec moins de 1000 unités fluviales en France (et autour d’une dizaine de milliers en Europe), il est difficile de faire travailler des motoristes au développement de modèles pour un marché si étroit.

Le 21 juin 2017 à Strasbourg, dans le cadre du programme européen EIBIP dédié à l’innovation dans le transport fluvial, VNF organisait, via son centre d’innovation fluviale BATELIA, un atelier d’information et d’échanges sur les enjeux et les perspectives de développement du Gaz Naturel Liquéfié (GNL) et du Gaz Naturel Comprimé (GNC) en tant que carburants alternatifs pour la flotte fluviale, en partenariat avec l’association allemande MARIKO. Une carte offre une synthèse des opérations cofinancés par l’UE via le programme de financement d’infrastructures CEF (*Connecting European Facilities*) fin 2017 (Fig. 91).

Figure 91. Les projets pilotes GNL soutenus par les financements européens dans la cadre de *Connecting European Facilities* (Pro Danube, Strasbourg, nov. 2019)



Sources bibliographiques

AFG, ASSOCIATION FRANÇAISE DU GAZ (2016), Rôle du GNL carburant marin et fluvial dans la transition énergétique pour la croissance verte, Contribution au cadre d'action national sur le déploiement d'une infrastructure pour carburants alternatifs (CANCA), 40 p., en ligne.

ANTONY P.-J., BARRERE M., BRISBOIS J. (1980), *La recherche sur les énergies nouvelles*, Ed. du Seuil La Recherche

BARRET A. (2018), « Carburant Marin l'ère du GNL », *Jeune marine*, n° 244

BATTIAU M. (2008), *L'énergie un enjeu pour les sociétés et les territoires*, Ed. Ellipses

BPO (BALTIC PORT ORGANIZATION) (2017), *The Baltic Sea as a model region for green ports and maritime transport*, Gdansk, 22 p.

BURDEAU J. (2015), « Le gaz naturel liquéfié, un carburant maritime », *Annales des mines – Réalités industrielles*, Nov. 2015, pp. 44 -48.

BURDEAU Julien (2015), « Le gaz naturel liquéfié, un carburant maritime ». *Réalités industrielles*, Nov. 2015, pp.43 - 48.

DANISH MARITIME AUTHORITY (2012). *North European GNL Infrastructure Project. A feasibility study for an GNL filling station infrastructure and test of recommendations*, Copenhagen, 234 p.

DIRECTION GENERALE DES INFRASTRUCTURES, DES TRANSPORTS, ET DE LA MER (2016), *Schéma national d'orientation pour le déploiement du gaz naturel liquéfié comme carburant marin*, 46 p.

EUROPEAN COMMISSION (2012), *GNL Masterplan for Rhine-Main-Danube Masterplan for introduction of GNL as fuel and as cargo for inland navigation 2012-EU-18067-S*, Bruxelles, 70 p.

FAVENNEC J.-P. (2009), *Géopolitique de l'énergie besoins, ressources, échanges mondiaux*, Ed. Technip.

GEE K. (2017), « Identifying culturally significant areas for marine spatial planning » in *Ocean & Coastal Management*, 136 (2017), pp. 139-147.

GERMAN ENERGY AGENCY (2014), *GNL in Germany: Liquefied Natural Gas and Renewable Methane in Heavy-Duty Road Transport. What it can deliver and how the policy framework should be geared towards market entry*. Berlin, 28 p.

GERMANISCHER LLOYD, (2015), *Study on Standards and Rules for bunkering of gas-fuelled Ships*, Report EMSA European Maritime Safety Agency, N°2012.005, Version 1.1/2013-02-15, 160 p.

HASSLER B. (2018), « Transnational policy coordination in the promotion of regional coherence » in *Marine Policy xxx (xxxx) xxx–xxx*

HONGJUN Fan *et al.* (2018) « GNL bunkering pontoons on inland waters in China ». *Natural Gas Industry* (2018) pp. 148 – 155 (en ligne).

MAGALOG - Maritime Gas Fuel Logistics (2008), *Developing GNL as a clean fuel for ships in the Baltic and North Seas*, research program financed by European Commission, December 2008, 89 p.

MÄKILÄ A., *GNL availability in Finnish ports*, Finnish Port Association, avril 2015. http://www.kaasuyhdistys.fi/sites/default/files/pdf/esitykset/20150423_kevatkokous/M%C3%A4kil%C3%A4.pdf

MALER P., ERHARDT J.-B. (coord) (2015), *Coordination des actions ministérielles pour l'usage du gaz naturel liquéfié (GNL) comme carburant. Le GNL, composante européenne de la transition énergétique du transport routier de marchandises*. CGEDD. Rapport n° 008091-03, Paris, 108 p.

MEKHELFI D. A. (2013), *Algerian gas exports and their impact on the Opec development (1970 to 2012)*, Rôle de l'Université et des Entreprises Economiques dans le Développement Local Durable, (LUEDLD) Université Kasdi Merbah – Ouargla.

MERK OLAF, DIR. (2018), *Fuelling Maritime Shipping with Liquefied Natural Gas. The Case of Japan*, International Transport Forum, OCDE, Paris, 38 p.

MERKEL ENERGY (2017), *Potenzialanalyse: GNL-Infrastruktur an der deutschen Nordseeküste unter Betrachtung besonders geeigneter Standorte*, MARIKO GmbH GreenShipping Kompetenzzentrum Niedersachsen, Oktober 2017, 204 p.

NIGOUL C. (2014), « L'Europe et la Méditerranée : le défi énergétique », Centre international de formation européenne, in *L'Europe en Formation* 2014/1 n° 371, pp. 93-108

ODGEREL BATT, PACK WILLIAM (2019), *China's Search for Blue Skies. Understanding GNL's Role*, Eprinc, April 2019, 57 p. en ligne.

PÖYRY (2015), *Preparation Study on General Reform of the Natural Gas Market Act*, A Report to The Ministry of Employment and the Economy, 54 p.

ROZMARYNOWSKA M. (2010). "LGN in the Baltic sea region, opportunities for the ports", *Akademia Morska w Gdyni*, nr 67, grudzień 2010, pp. 89 -100.

SCHIFANO F. MORICONI D. (2009), « L'équation énergétique à trois inconnues », *Confluences Méditerranée*, 2009/1, n°68, pp. 151-160.

SCHNACK PETRA, KRÜGER MARKUS, Edit. (2015), *In Focus – GNL as ship fuel*, DNV GL, Hamburg, 52 p. (en ligne).

SERRY A. 2017. Development of liquefied natural gas facilities in the Baltic Sea ports: a Geographical Perspective. In *Regional Formation and Development Studies*, No. 3 (23), pp 141-151.

STRÄUSSLER JÖRG. DENCKER FELIX (2008), *GNL for Lübeck feasibility considerations*, within the framework of the project „Magalog“. WP5 / WP 6b, 20 p.

The Steering committee for GNL bunkering at the port of Yokohama, *Feasibility Study Report on the GNL bunkering hub development plan at the Port of Yokohama*, December 2016, 37 p.

WANG SIYUAN, NOTTEBOOM THEO (2015), « The role of port authorities in the development of GNL bunkering facilities in North European ports ». *Journal of Maritime Affairs*, April 2015, Volume 14, Issue 1, pp 61–92

WÄRTSILÄ (2018), Developer's Guide to small-scale GNL terminals, 36 p.

WILHELMOSEN (2019), « China: Hunger for Cleaner Energy ». *Baker Ports News*, 24 April 2019, en ligne.

YU HANG, BELL MICHAEL, FU XIAOWEN, GE YING-EN (2019), Inland shipping network of GNL-fueled ships under emission control. The case of China's Belt and Road shipping corridor along the Yangtze river, Institute of Transport and Logistics Studies, Working Paper -19-09, University of Sydney ; 21 p.

Table des matières

Sommaire	2
Argument et contexte de l'étude	4
Le GNL, un carburant à fort potentiel	4
La centralité des ports dans un dispositif élargi	5
Des soutiens publics dédiés à l'équipement terrestre et des annonces maritimes.....	7
Les acteurs portuaires au cœur de la transition.....	8
Quel va être le modèle spatial de diffusion pour le GNL-carburant ?.....	8
Objectifs de la recherche	9
Orientations.....	9
Périmètre géographique de l'étude	9
Démarche	9
Un point sur l'état de la recherche et des réalisations dans le domaine du GNL carburant marin.....	9
Etude comparative fondée sur des recherches empiriques	10
Modèles de diffusion, dynamiques territoriales et jeu des acteurs portuaires.....	10
Le GNL, éléments de cadrage	12
Un éclairage technique sur le GNL	12
Le gaz naturel, une énergie triple A ?.....	13
Une réponse partielle au défi environnemental	16
Les solutions envisagées pour réduire l'empreinte environnementale du carburant marin.....	18
L'approche économique du GNL marin.....	23
Les éléments de l'efficacité d'une motorisation GNL	23
Le prix du gaz.....	24
Les stratégies possibles des armateurs	28
Le coût de l'équipement	28
Les types de bateaux concernés	29
Le positionnement des ports.....	30
Géographie et logistique du soutage : vers une structure GNL moins hiérarchisée des ports ?.....	30
Les actions spécifiques des autorités portuaires en faveur du GNL	31
Les opérations d'avitaillement portuaires des navires GNL	32
La standardisation de données techniques	36
Les opérations portuaires	37
La question de sécurité dans les opérations de soutage du GNL	41
Cadre juridique, actions, adaptations et risques associés à l'utilisation du GNL comme carburant marin	45

Évolution du cadre juridique international et européen.....	45
Typologie des actions proposées par le législateur et champs d'application	50
Action technique	52
Action opérationnelle/coercitive	53
Action territorialisée	53
Action de monitoring (contrôle/surveillance).....	54
Action organisationnelle (équipement et infrastructure).....	54
Action financière/mécanismes de marché	55
Action stratégique.....	55
La nécessité d'adaptations du cadre juridique national à tous les niveaux de la chaîne d'approvisionnement en GNL	56
L'exploitation de l'infrastructure GNL à terre	57
La gestion de l'interface terre/navire lors des opérations d'avitaillement en GNL.....	58
L'adoption du code IGF (<i>Code of Safety for Ships using Gases or other Low flashpoint Fuels</i>)	58
La gestion du port de manière transversale	58
Les risques associés à l'évolution du cadre juridique en faveur de l'utilisation du GNL comme carburant marin.....	58
Le GNL carburant marin, une très lente diffusion	59
L'estimation de la flotte mondiale propulsé GNL et son évolution.....	62
L'équipement des ports pour le soutage GNL.....	66
Vers un système de soutage plus décentralisé	66
Vers une mise en réseau des ports GNL.....	67
Une mise en réseau global autour de Singapour : le <i>GNL Bunkering port focus group</i>	69
GNL marin : les perspectives nord-américaines	69
Amérique du Nord : un contexte en apparence favorable au GNL.....	69
GNL et North American Eca.....	70
Un marché unifié mais peu porteur	71
Des réserves de gaz de schiste immenses pour un faible coût de production et de distribution	72
La multiplication des ports d'export « large scale GNL »	72
Un potentiel limité pour les modes terrestres	73
Déception dans le ferroviaire.....	74
Des avancées decevantes dans le transport routier	74
L'échec du Clean Trucks Program : la politique GNL dans les ports de Los Angeles – long Beach	75
Le GNL au Canada.....	76
Une lecture intégratrice pour la côte ouest du Canada.....	76

Un potentiel réel en Colombie britannique	76
Le Mexique	77
Le GNL marin dans le contexte extrême-oriental.....	78
Japon.....	79
Le boom chinois du Gaz Naturel.....	81
Le GNL et dispositifs des terminaux portuaires	83
La main visible du gouvernement central.....	85
Une réglementation environnementale plus stricte dans les ports chinois.	86
La question du soutage GNL sur le Yangtze et de la Rivière des Perles	86
Les solutions GLN dans les ports du Benelux.....	89
Un potentiel considéré avec intérêt à Rotterdam.....	90
Figure 64. Les terminaux GNL dans le port de Rotterdam (Source Port de Rotterdam, 2018).....	90
Des avancées certaines à Amsterdam.....	91
Le GNL à Zeebruges et à Anvers	91
Un opérateur local majeur, le groupe Fluxys	93
L'usage du GNL comme carburant dans les ports de la Baltique	94
Une réponse commune au défi environnemental d'une ferme semi-fermée.....	94
Le gaz naturel, une ressource particulièrement sujette aux réalités géopolitiques régionales.....	95
Une structure <i>a priori</i> favorable à la conversion au GNL : importance des trafics captifs et des offres des lignes de ferries et de croisière	97
La tradition de coopération et le transfert de technologie : la place de l'UE dans le développement de technologies GNL.....	97
Le GNL carburant marin, un argument de promotion régional et international	98
Une progressive mutation de la flotte de la Baltique vers le GNL	99
Les approches nationales autour de la Baltique	101
La Norvège, un pays pionnier.....	101
La Finlande, l'enjeu industriel	102
Suède, un accompagnement volontaire du GNL	103
La Pologne, un nouvel acteur du GNL.....	104
L'Allemagne : un retard à combler.....	104
Perspectives	106
Le GNL marin en Méditerranée	107
L'Algérie, une longue tradition d'exportation du GNL.....	107
L'Égypte, une complémentarité pétrole/gaz comme levier de développement.....	107
L'Italie, un soutien actif à l'utilisation du GNL comme carburant marin.....	108

L'Espagne, un pays méditerranéen très orienté vers le GNL	110
L'option GNL dans les ports français.....	112
L'établissement tardif d'un schéma national en 2016	112
Une préfiguration des services par façade.....	116
De la Mission ministérielle de coordination à la PTF française du GNL carburant	117
Les ports français seront-ils prêts ? La situation au printemps 2019	118
Sources bibliographiques.....	123