

T.1.2.1 Rapport de l'étude spécifique GNL pour les manoeuvres ferroviaires dans les ports

Oct/2019

Regione Liguria

Résumé

Introduction au rapport.....	3
1. Analyse des applications les plus significatives existant sur la scène international.	4
2. Collection de la législation de référence.....	10
2.1 Règlements généraux.....	10
2.2 Réglementation spécifique.....	14
3. Etat de l'art des manœuvres ferroviaires dans les ports du territoire de coopération	18
4. Caractéristiques des locomotives utilisées pour l'étude de cas.....	21
5. Analyse de différentes solutions techniques pour le réaménagement de locomotives.....	23
5.1 Solution mixte "dual fuel".....	23
5.2 Conversion du moteur à cycle diesel d'origine en cycle otto méthane.....	24
5.3 Installation sur la locomotive d'un nouveau moteur CURSOR16 100% méthane	25
5.4 Alternatives de motorisation possibles.....	27
5.5 Éléments supplémentaires résultant du changement de moteur.....	28
5.6 Approbation AMIS par ANSF.....	28
6. Impact de l'intervention sur les émissions, la performance, la consommation.....	31
6.1 Impact sur l'environnement.....	31
6.2 Performance et coûts d'exploitation.....	32
7. Évaluations économiques des investissements pour le réaménagement.....	34
8. Considérations sur le réseau de charge.....	35
9. Contacts et merci.....	36

Introduction au rapport

La diffusion de l'utilisation du GNL, méthane conservé sous forme liquide à une température cryogénique, est maintenant consolidée et en développement continu dans le monde entier, grâce notamment à la possibilité de stocker des quantités importantes d'énergie avec poids et dimensions compétitifs par rapport au diesel.

Dans le secteur de l'industrie automobile, il existe un large éventail de motorisations, généralement appliquées aux véhicules industriels, qui utilisent le GNL.

Il existe en particulier deux technologies de référence: les moteurs bicarburant (dual fuel), capables de fonctionner avec une double alimentation par diesel et gaz (GNL ou GNC), basés sur l'utilisation du carburant diesel pour démarrer la combustion du méthane, et les moteurs seulement à gaz.

Dans le secteur ferroviaire, l'alimentation par GNL n'a pas encore une présence significative et, en l'absence de locomotives électrifiées, la solution de loin la plus appropriée est celle des moteurs diesel. Les premières expériences de conversion à double carburant de locomotives diesel permettant d'obtenir des réductions significatives de la pollution produite (CO₂, particules, fumées) avec un coût de conversion nettement bas.

Le cas particulier de l'alimentation par GNL des locomotives de chemin de fer qui effectuent les manœuvres à l'intérieur des ports apparaît particulièrement intéressant, quelle que soit la solution technologique utilisée, insérée dans un contexte d'infrastructure du port permettant de fournir le gaz pas seulement aux navires, à juste titre principal utilisateur potentiel, mais à toute une série de services opérant dans la zone portuaire et pouvant exploiter pleinement les installations de stockage local et de distribution de gaz.

Dans le panorama de l'industrie nationale, il y a d'une part des entreprises qui opèrent déjà dans la conversion de moteurs pour camions et dans la construction de moteurs tout-gaz, d'autre part capables de concevoir et de produire tous les composants "cryogéniques" nécessaires pour ces réalisations. On peut donc dire que on parle de solutions technologiquement matures, à la portée de l'industrie manufacturière.

À partir de ce scénario de référence, le sujet de l'utilisation possible du GNL pour alimenter les locomotives effectuant des manœuvres à l'intérieur du port trouve une place naturelle dans le projet PROMO-GNL, en particulier dans l'activité T1, au sein de laquelle il va analyser les différentes possibilités d'utilisation du GNL dans toutes les activités portuaires.

Ce rapport T1.2.1 est divisé en particulier sur les activités suivantes:

- analyse des applications les plus significatives déjà existantes sur le marché;
- recueil de la législation pertinente;
- examen de l'état de l'art des manœuvres ferroviaires dans les ports du territoire de coopération;
- identification des locomotives utilisées pour l'étude de cas et de leurs caractéristiques techniques;
- caractérisation des différentes solutions techniques pour le réaménagement de locomotives;
- évaluation de l'impact de l'intervention sur les performances, les émissions, la

consommation;

- évaluation économique;

- considérations sur l'homologation et l'infrastructure de recharge.

1. Analyse des applications les plus significatives existant sur la scène internationale

Le panorama mondial offre quelques études de cas à analyser, mais elles ne sont pas nombreuses et font généralement référence à la traction sur la voie ferrée et pas aux manœuvres dans les ports, à l'exception du cas de Tarragone.

On peut trouver des informations sur les expériences très récentes à l'étranger sur les locomotives lourdes: à part un exemple russe de locomotive à turbine, on trouve souvent le concept d'alimentation «bicarburant», qui nécessite, sur les gros moteurs diesel, des interventions moins complexes que la conversion complète.

• Chemins de fer russes (RZD)

Les Chemins de fer Russes (Rossijskie Zeleznye Dorogi - RZD), qui a expérimenté la première locomotive au GNL en 2014, développent actuellement un programme de conversion du méthane pour les véhicules utilisés dans les autres activités de la société.

En 2014, Gazprom et les Chemins de fer Russes ont signé un accord de coopération et en 2016 les Chemins de fer Russes ont adopté le programme 2015-2025 visant à introduire des locomotives fonctionnant au GNL dans la zone opérationnelle du chemin de fer de Sverdlovsk.

En 2016, Gazprom, les Chemins de fer Russes, le groupe Sinara et Transmashholding (TMH) ont signé un accord de coopération dans le secteur du gaz naturel qui permet à Gazprom de construire une infrastructure moderne pour les dépôts de carburant dans les emplacements convenus avec les chemins de fer russes et d'alimenter les transports par rail avec GNL.

Gazprom Gazomotornoye Toplivo, le distributeur de gaz naturel pour le transport de Gazprom, de juillet 2017 a commencé à approvisionner les chemins de fer russes avec le gaz naturel liquéfié à la station Egorshino, dans la région de Sverdlovsk, où trois locomotives à gaz fonctionnent actuellement dans la section Egorshino-Serov-Sortirovochny: une bi-carburant et deux exclusivement par gaz. L'infrastructure d'approvisionnement en gaz naturel de Sverdlovsk a jeté les bases de l'utilisation du GNL dans les transports ferroviaires et des projets prévoient l'installation de dépôts de GNL supplémentaires le long des autres tronçons ferroviaires non électrifiés. La station d'Egorshino dispose aujourd'hui également d'un dépôt de GNL alimenté en gaz cryogéniques par Gazprom Gazomotornoye Toplivo.

À l'occasion du Forum sur l'Investissement Russe qui s'est tenu à Sotchi le 15 février 2018, Gazprom a signé un nouvel accord avec les chemins de fer russes, Sinara-Transport Machines et Transmashholding pour la mise en œuvre de l'accord de coopération dans le secteur du gaz signé en 2016 concernant l'utilisation de locomotives alimenté par GNL sur le réseau ferroviaire russe Sverdlovsk. Dans le cadre du nouveau programme, les Chemins de fer Russes envisagent d'augmenter de 3 à 22 unités le parc de



*Locomotiva russa LNG con turbina a gas (2017).
Rifornimento con autobotti Gazprom*

locomotives à turbine alimentées au gaz naturel liquéfié de Ferrovie Sverdlovsk d'ici 2023. En ce qui concerne la logistique d'approvisionnement, Gazprom a l'intention de construire deux petites installations de production de GNL dans les stations de distribution de gaz de Tobolsk et de Surgut, ainsi que des plates-formes d'approvisionnement mobiles dans les stations de Voynovka et de Surgut.

Conformément au nouveau plan, les producteurs de Sinara et de Trasmashholding s'engageront plutôt à améliorer les projets de leurs locomotives à gaz et à développer de nouvelles séries de locomotives.

Sur la base des spécifications fournies par les chemins de fer russes, les deux constructeurs de machines russes ont construit jusqu'à présent deux locomotives pour trains de marchandises et une pour les manœuvres, toutes alimentées au GNL, qui sont déjà en service régulier dans la section Egorshino - Alapayevsk - Serov-Sortirovochny dans la Région de Sverdlovsk.

Le groupe Sinara a certifié la locomotive à turbine à gaz GT1h, qui a remorqué un train de marchandises de 9.000 tonnes sur 700 km sans ravitaillement par GNL et a mis en place un site de production en série.

Un prototype de locomotive de manœuvre a été développée en 2014: il s'agit de la T3M19, produite par BMZ, filiale de Trasmashholding, Uralcryomash Volzsky Diesel et Vnikty Institute à Kolomna. La machine a été testée par la compagnie de chemin de fer de Sverdlovsk dans le parc Yegorshino, près d'Ekaterinbourg: plus de 1300 heures de fonctionnement dans des conditions normales d'exploitation, pour un total de 19000 wagons déplacés. Cet essai a montré une économie de coûts de gestion estimée à environ 24% par rapport au diesel traditionnel.



- **Chemins de Fer Indiens "Indian Railways"**

Les Chemins de Fer Indiens "Indian Railways" ont choisi le GNL comme solution de carburant alternative. La société attend les approbations réglementaires pour effectuer des tests. Indian Railways a récemment signé un accord avec GAIL, la plus grande société indienne de production et de distribution de gaz, afin de créer une nouvelle infrastructure pour la fourniture de GNL aux ateliers, unités de production, entrepôts et colonies résidentielles de la société.

Cette initiative s'inscrit dans le cadre d'un programme national lancé par le Gouvernement Indien, qui vise à modifier son bouquet énergétique pour faire passer la part du GNL de 6% à 15% d'ici 2022.



*Locomotiva indiana dual-fuel(2017)
(CNG/LNG 20-40% del gasolio)*

- **Florida East Coast Railway**

La Florida East Coast Railway est le premier chemin de fer nord-américain à adopter le gaz naturel liquéfié pour alimenter l'ensemble du parc de locomotives. Le GNL a été testé comme carburant pour les locomotives pendant 25 ans en Amérique du Nord et est toujours en cours d'évaluation par plusieurs compagnies de chemin de fer.

Les locomotives de la côte est de la Floride sont conformes à la norme Tier 3 de la "Environmental Protection Agency (EPA)", qui définit les caractéristiques des carburants et des véhicules afin de réduire l'impact sur la qualité de l'air et la santé publique; il s'agit de machines

General Electric ES44AC équipées avec la technologie à basse pression NextFuel, qui permet le fonctionnement à double combustible ou au GNL. En 2013, General Electric a construit la locomotive ES44AC, GECX 3000, en tant que banc d'essai pour leur kit d'alimentation en gaz naturel NextFuel, en maintenant le diesel utilisé pour l'allumage par



compression. Le dépôt de gaz a été spécialement développé par Chart Industries et consiste en un réservoir cryogénique monté en permanence sur un tender, avec un poids de véhicule de 67,9 tonnes à pleine charge.

Le tender est conçu pour résister aux chocs latéraux causés par un camion sans dommage, et le véhicule est entièrement protégé sous le châssis afin d'éviter le risque d'éclats qui persent le réservoir en cas de déraillement. Le projet a été largement modélisé sur ordinateur pour simuler des scénarios d'impact et de déraillement dans les pires conditions.

Le réservoir cryogénique se compose d'un réservoir en acier inoxydable, construit à l'intérieur d'un réservoir externe en acier au carbone, séparé par une couche d'isolation thermique, fixé au wagon et protégé par une structure en acier massif.

Le système de gazéification prend le GNL et le transforme en gaz pour le système d'injection de carburant. Les dispositifs de sécurité incluent des vannes qui se verrouillent automatiquement si le système hydraulique de GNL est endommagé, empêchant des fuites.

La ravitaillement d'un tender vide dure environ 90 minutes et alimente en carburant un maximum de 1450 km de transport lourd fonctionnant à une vitesse maximale de 97 km/h.

- **Ferrovie Spagnole Renfe**

En Espagne, un procès impliquant des trains de voyageurs a été lancé en 2018. Ce test a été mis en œuvre par l'opérateur ferroviaire national Renfe, en partenariat avec la société de certification Bureau Veritas et les fournisseurs de gaz naturel Gas Natural Fenosa et Enagás. Le moteur diesel traditionnel de l'un des deux wagons a été remplacé par un moteur au GNL, qui a poussé le train sur environ 20 km entre Trubia, Baíña et Figaredo, dans la région ibérique des Asturies, au nord du Pays.

Ces tests devraient fournir des indications sur les exigences techniques en matière d'espace, de poids, de réfrigération et de portée maximale pour la propulsion au gaz naturel, ainsi que d'autres considérations et variables comparatives en termes

d'émissions et d'économie. En particulier, 30% des émissions de CO2 et de la réduction tandis que les émissions de particules pour significative, jusqu'à 90%. De plus, comme l'électrification, le GNL pourrait permettre d'exploitation. Si d'autres expériences aboutissent, le GNL sera moins sur certaines liaisons du réseau ferré



- **Port de Klaipeda, Lituanie**

Un cas très intéressant se trouve en Lituanie, où certains membres du Baltic Sea Region cluster GNL, notamment la société de stockage Bega, Klaipėdos Nafta, l'Université technique de Vilnius, Gediminas, et l'Université de Klaipėda, ont signé un accord en 2017 pour le développement d'une locomotive de manœuvre alimentée au GNL, à utiliser dans le port de Klaipėda; en particulier de la gare du port jusqu'aux zones d'arrimage, dans l'intention d'en étendre la portée à l'avenir. La locomotive devrait être prête à être utilisée d'ici 2020.

L'objectif de cette mise en œuvre est de mesurer concrètement la réduction des émissions et des coûts d'exploitation par rapport à une solution diesel classique: les premières estimations indiquent que la consommation de carburant de la locomotive au GNL sera jusqu'à 40%



inférieure à celle du moteur diesel et de ses émissions de dioxyde de carbone serait 25% plus faible. Le système hybride GNL sera associé à un bloc-batterie pour équilibrer les performances de la locomotive aux fins de manœuvres. Le développement de technologies innovantes offrira de grands avantages au secteur de la logistique et devrait avoir un impact significatif sur la réduction de la pollution. Les partenaires du projet sont les premiers dans toute la région de la Mer Baltique à se concentrer sur la possibilité d'utiliser des chemins de fer plus propres.

Ligne Bilbao - Léon, projet CEF 2016

Le projet, financé dans le cadre du programme CEF (réf. 2016-ES-TM-0125-S), concerne l'étude d'une solution innovante liée à la traction du GNL dans le secteur ferroviaire et fait partie de la stratégie nationale espagnole pour promouvoir des véhicules alimentés par des énergies alternatives. En particulier, il dirige la conception et l'ingénierie d'une infrastructure mobile de ravitaillement en GNL et le rééquipement d'une locomotive alimentée au GNL, dans le but d'évaluer ses performances sous différents angles techniques, économiques et environnementaux.

Le pilote étudie le fonctionnement de la locomotive réamanégé, dans des conditions normales d'exploitation, sur une distance de 15000 km, comparant ainsi les performances de l'alimentation en GNL à celles de l'alimentation en carburant diesel traditionnel. Les tests seront effectués sur le tronçon de la ligne RENFE Bilbao-Leon. Le

projet, lancé en 2015, devrait aboutir au second semestre 2020. Actuellement, sur la base des informations disponibles sur le site Web du projet, <https://www.railng.com/en/>, la préparation de l'infrastructure de test est en cours et consiste en la préparation des véhicules et de l'infrastructure de ravitaillement, l'étude de la réglementation, la formation du personnel et l'identification des autorisations et permis nécessaires pour effectuer le test pilote.

- **CORE LNGas, Port de Tarragone, project CEF 2014**

Le projet CORE GNGas (réf. 2014-EU-TM-0732-S), dans le but de développer une chaîne logistique sécurisée, efficace et intégrée pour l'utilisation du GNL dans le secteur maritime de la péninsule ibérique, ne se limitant pas aux navires mais impliquant également différents services dans la zone portuaire, a été mis au point par un consortium de plus de 40 partenaires sous la coordination d'Enagàs et de Puertos del Estado. Parmi les 11 projets pilotes développés au sein de CORE LNGas, figure "Retrofitting and feasibility (technical and legal) of a LNG-powered port locomotive in Tarragona" (réf. sous-activité EV3), démarrée en 2017 et terminée fin 2018, visant à l'introduction progressive de locomotives de manœuvre à propulsion GNL pour remplacer les locomotives à propulsion diesel actuelles. Parallèlement à l'identification des obstacles techniques et juridiques, le projet a examiné la faisabilité sous le double profil économique et environnemental, en produisant des recommandations pour la gazéification des services de manœuvre portuaires.

Le livrable D3.4 produit pendant le projet, présente de manière particulièrement intéressante toutes les phases de l'activité réalisée. Dans la première partie de l'étude, les principaux aspects du projet de gazéification de locomotive sont analysés:

- adaptation technologique des locomotives sélectionnées;
- mise en place de l'infrastructure de ravitaillement;
- organisation des processus de gestion et de maintenance des machines;
- aspects juridiques, d'une importance particulière compte tenu de l'innovation de cette solution et de l'absence de réglementation correspondante.

Une deuxième partie de l'étude concerne la faisabilité économique et financière de l'intervention, qui apparaît comme l'un des points les plus critiques de tout le travail effectué. Différents scénarios sont analysés, certaines hypothèses concernant l'évolution du coût du carburant ont été évaluées, ce qui a permis de conclure que la compagnie ferroviaire bénéficierait d'une période de récupération des investissements d'au moins sept ans, ce qui n'est certainement pas très encourageant. On peut constater que les coûts de conversion (coût du moteur et modifications sur les machines) semblent avoir été estimés de manière assez préventive, ce qui contribue à l'allongement la période de récupération. Les évaluations des effets sur l'environnement sont nettement plus encourageantes en termes de réduction de la pollution sonore et des émissions de CO, de NOx et de particules pour des pourcentages d'environ 70%.

Le projet CORE LNGas passe ensuite à l'évaluation de la conception de la transformation en GNL des deux types de locomotives fonctionnant à l'intérieur du port: la première (modèle 310) caractérisée par une puissance de 598 kW, la seconde (modèle 311) de 705 kW.



Quatre variantes de conception ont été examinées:

- remplacement du moteur diesel existant par un nouveau moteur au GNL;
- transformation du moteur diesel existant en GNL;
- remplacement du moteur diesel existant par un nouveau moteur bicarburant (diesel + GNL);
- transformation du moteur diesel existant en bicarburant (diesel + GNL).

Les coûts et les avantages des différentes solutions ont été analysés et comparés. Le tableau suivant montre les résultats de cette analyse. Il ne peut pas être considéré comme une référence absolue, notamment parce qu'il est inévitablement conditionné par les caractéristiques spécifiques des locomotives considérées, mais il offre des informations intéressantes.

			ADVANTAGES	DISADVANTAGES
DEDICATED ENGINE (NATURAL GAS)	A	NEW NG ENGINE	Reliability Consumption Low maintenance Emissions and noise reduction	Cost Complexity of integration Range reduction
	B	TRANSFORMATION OF THE CURRENT ENGINE TO NG	Cost Ease of integration Reliability Consumption Low maintenance Emissions and noise reduction	Worsen performances Range reduction
DUAL ENGINE	C	TRANSFORMATION OF THE CURRENT ENGINE TO DUAL	Cost Reliability Range Performances	Reduced gas consumption LNG tank integration
	D	NEW DUAL ENGINE	Reliability Range Performances	Cost Complexity of the engine and the LNG tank integration Reduced gas consumption

Le choix considéré comme optimal pour le cas de Tarragone, à la fin de l'analyse comparative des quatre alternatives, consiste dans la conversion diesel >>> gaz du moteur existant, dictée par les éléments suivants:

- maximisation de la réduction des émissions, due à l'abandon total du diesel;
- criticité possible du fonctionnement dans l'hypothèse dual-fuel;
- meilleure adaptabilité aux contraintes dimensionnelles et d'installation des machines;
- facilité d'intégration.

Un autre sujet intéressant abordé dans le projet concerne la capacité du conteneur de GNL à être installé sur la locomotive. À partir de la référence actuelle sur le modèle 310, qui avec une fourniture de 2700 litres de diesel couvre une semaine de fonctionnement, il a été calculé que pour obtenir une autonomie équivalente, un dépôt de 4800 litres de GNL serait nécessaire. Dans le cas spécifique de la locomotive à l'étude, il existe une limite dimensionnelle à environ 2000 litres de GNL, ce qui impliquerait un abaissement de l'autonomie opérationnelle de moins de la moitié par rapport à la version actuelle. Cette conclusion n'a aucune valeur générale, elle est directement conditionnée par les contraintes constructives de chaque locomotive.

2. Collection de la législation de référence

La législation de référence est articulée; contient des dispositions générales et d'autres plus spécifiques relatives au transport ferroviaire. Il convient de signaler immédiatement qu'il n'existe pas de législation spécifique concernant l'équipement d'une locomotive à GNL, essentiellement parce qu'il n'y a pas encore de coutume consolidée dans le développement de cette solution, mais que les quelques réalisations actuelles sont en réalité des prototypes, développés en termes d'étude et non de production industrielle.

2.1 Règlementation général

- **Directive "DAFI" 2014/94/UE**

La Directive 2014/94/CE relative au développement d'une infrastructure pour les carburants alternatives dans l'Union Européenne a été publiée le 28 octobre 2014. Deux ans après l'entrée en vigueur de la Directive, chaque État membre devait présenter un plan national visant à promouvoir sur son propre territoire la diffusion des carburants alternatives, y compris le gaz naturel liquéfié.

La directive établit:

- les exigences minimales applicables à la construction d'infrastructures pour les carburants alternatives, y compris les points de recharge pour véhicules électriques et les points de ravitaillement pour gaz naturel (GNL et GNC) et hydrogène, à mettre en œuvre par le biais des cadres stratégiques nationaux des États membres;
- les spécifications techniques communes pour ces points de ravitaillement et les exigences concernant les informations des utilisateurs.

L'objectif de la directive est de développer un vaste marché des carburants alternatives. Chaque État membre adopte son propre cadre stratégique national (pour le développement du marché en ce qui concerne les carburants alternatives dans le secteur des transports et la construction de l'infrastructure connexe), qui comprend une série de mesures minimales conformes à la directive elle-même. Les cadres stratégiques nationaux doivent prendre en compte non seulement la législation européenne, mais également les caractéristiques régionales et la nécessité de la compatibilité avec les normes nationales.

En ce qui concerne le GNL, la directive fixe à 2015 la date à laquelle tous les ports de l'Union Européenne devraient être équipés pour recharger les navires, acquérant ainsi des terminaux, des réservoirs et des conteneurs mobiles. La disponibilité de ces infrastructures de recharge est une condition indispensable à la méthanisation des véhicules opérant à l'intérieur des ports, tels que les locomotives pour les opérations ferroviaires.

L'objectif est qu'à l'horizon 2030, un réseau central TEN-T de points de ravitaillement en GNL soit disponible pour les navires opérant dans les ports maritimes et les ports de navigation intérieure, sans exclure la possibilité que le GNL soit disponible, dans une perspective à long terme, même dans les ports situés en dehors de ce réseau, en particulier ceux qui sont importants pour les navires n'effectuant pas d'opérations de transport. La décision sur l'emplacement des points de ravitaillement en GNL dans les ports devrait être fondée sur une analyse coûts-avantages, y compris une évaluation des avantages pour l'environnement. Les États membres devront assurer un système de distribution adéquat entre les installations de stockage et les points de

ravitaillement en GNL. En ce qui concerne le transport routier, la disponibilité et l'emplacement géographique des points de chargement pour les véhicules-citernes de GNL sont essentiels pour le développement d'une mobilité économiquement durable basée sur le GNL. Par le biais des respectifs cadres stratégiques nationaux, les États membres veillent à ce que, d'ici au 31 décembre 2025, un nombre suffisant de points de ravitaillement en GNL accessibles au public le long du réseau principal TEN-T afin de garantir la circulation dans l'ensemble du territoire européen de véhicules lourds alimentés au GNL.

- **Directive 2010/35/UE**

TPED - Transportable Pressure Equipment Directive est la directive 2010/35/UE du Parlement Européen et du Conseil du 16 juin 2010 relative aux équipements sous pression transportables, qui abroge les directives 76/767/CEE, 84/525/CEE, 84/526/CEE, 84/527/CEE et 1999/36/CE.

Elle établit des règles détaillées concernant les différents types d'équipements sous pression transportables (tous les appareils sous pression, leurs vannes et autres accessoires tels que réservoirs, véhicules, réservoirs à gaz à éléments multiples, cartouches à gaz, réservoirs cryogéniques, bouteilles de gaz pour appareils respiratoires autonomes et extincteurs) afin d'améliorer la sécurité et de garantir la libre circulation de ces équipements dans l'Union Européenne.

En particulier, la TPED concerne:

- nouveaux équipements sous pression transportables ne portant pas les marques de conformité requises par les directives 84/525/CEE, 84/526/CEE, 84/527/CEE ou 1999/36/CE, afin de les mettre à disposition sur le marché;
- équipements sous pression transportables portant le marquage de conformité requis par les directives susmentionnées, aux fins des contrôles périodiques, des contrôles intermédiaires, des contrôles et des utilisations exceptionnelles;
- équipements sous pression transportables ne portant pas les marques de conformité requises par la directive 1999/36/CE, aux fins de la réévaluation de la conformité;
- obligations spécifiques pour les opérateurs économiques, exerçant des activités commerciales ou de service public;
- garantie par les fabricants que l'équipement a été conçu, fabriqué et documenté conformément aux exigences de cette directive et de la directive 2008/68/CE. Lorsqu'une telle conformité est démontrée au cours du processus d'évaluation de la conformité, les fabricants doivent apposer la "marque Pi" (une marque indiquant que l'équipement sous pression transportable est conforme aux exigences d'évaluation de la conformité applicables énoncées dans la directive 2008/68/CE) à l'équipement. Cette marque Pi doit être apposée par le fabricant ou, dans le cas d'une réévaluation de la conformité, par ou sous la surveillance de l'organisme notifié.

La règle établit également que:

- les importateurs et les distributeurs ne peuvent placer sur le marché de l'UE que des équipements sous pression transportables, conformément à la directive 2008/68/CE et à la présente directive. Ils doivent s'assurer que l'équipement porte la marque Pi et possède le certificat de conformité nécessaire.
- les importateurs, les distributeurs et les propriétaires doivent informer le fabricant et l'autorité compétente de tout risque présenté par l'équipement. Alternativement, si nécessaire, le distributeur informe l'importateur et le propriétaire de ce risque; tous les

cas de non-conformité et les mesures correctives doivent être documentés; il faut s'assurer que l'équipement sous pression transportable est sous la responsabilité de la société qui utilise la locomotive.

Les équipements sous pression transportables doivent satisfaire aux exigences applicables en matière d'évaluation de la conformité, d'inspection périodique, d'inspection intermédiaire et de contrôles exceptionnels, ainsi qu'aux spécifications de la documentation sous laquelle l'équipement a été fabriqué. Aucun Pays de l'UE ne peut interdire, restreindre ou empêcher la libre circulation, la mise sur le marché et l'utilisation d'équipements sous pression transportables sur son territoire s'ils sont conformes à la directive.

- **Directive 2008/68/CE**

La directive 2008/68/CE du Parlement Européen et du Conseil (24 septembre 2008) établit un régime commun pour tous les aspects du transport intérieur de marchandises dangereuses par route, chemin de fer et voies navigables dans n'importe quel Pays de l'Union Européenne (UE) ou entre les Pays de l'UE.

Le transport international de marchandises dangereuses est régi par divers accords internationaux, tels que ADR, RID et ADN. Ces règles devraient également être étendues aux transports nationaux afin d'harmoniser les conditions dans lesquelles les marchandises dangereuses sont transportées dans l'ensemble de l'UE et de garantir le bon fonctionnement du marché commun des transports. Les annexes de la directive font référence au texte de ces accords.

ADR, RID et ADN ont dressé une liste des marchandises dangereuses, indiquant si leur transport est interdit ou non et définissant les conditions de leur transport si elles sont autorisées. Les pays de l'UE peuvent demander des dérogations temporaires dans certaines conditions.

- **ISO 12991**

En ce qui concerne le GNL, ISO a traité des aspects liés à son transport, à sa utilisation en tant que combustible marin et à sa utilisation dans les stations de service. En particulier, il a publié la norme ISO 12991: 2012 "Réservoirs de stockage embarqué comme carburant pour véhicules automobiles", établie par le Comité Technique ISO/TC 220 et publiée en 2012.

En ce qui concerne les réservoirs cryogéniques utilisés pour le transport de gaz naturel liquéfié, les exigences de construction et les méthodes d'essai nécessaires pour garantir des niveaux adéquats de protection contre le feu et l'explosion sont spécifiées. Cette norme s'applique aux réservoirs de carburant destinés à être fixés de façon permanente à des véhicules terrestres, mais peut servir de guide pour d'autres modes de transport.

- **UNI EN 13645**

La norme UNI EN 13645 "Installations et équipements pour le gaz naturel liquéfié (GNL) - Projet d'installations terrestres d'une capacité de stockage comprise entre 5t et 200t", publiée par UNI en 2001 et mise en œuvre en Italie en 2006, définit les

exigences pour la conception et la construction d'installations fixes au sol pour le gaz naturel liquéfié (GNL) d'une capacité totale de stockage comprise entre 5 et 200 t. Il recommande des procédures et des règles permettant de concevoir, de construire et d'exploiter des installations de GNL satisfaisantes pour la sécurité et l'environnement.

La norme prévoit qu'une étude d'impact sur l'environnement doit être réalisée si la capacité de stockage de GNL dépasse le seuil spécifié dans la réglementation locale ou, en son absence, un seuil recommandé de 50t. Cette étude doit prendre en compte les éventuelles restrictions au transport de GNL.

Les émissions de l'installation, qu'elles soient solides, liquides (y compris l'eau) et gazeuses (y compris les odeurs nocives), doivent être identifiées et des mesures doivent être prises pour que ces émissions normales et accidentelles ne soient pas dangereuses pour les personnes, propriétés, animaux ou végétation. Une politique de gestion des effluents doit être établie et les exigences relatives à la manipulation de matières toxiques doivent être identifiées. L'augmentation éventuelle de l'activité liée à l'exploitation de la centrale doit également être évaluée, et les niveaux non souhaités de ces activités doivent éventuellement être éliminés ou réduits au minimum et limités, compte tenu notamment:

- niveaux de bruit;
- niveaux de vibration;
- travail de nuit, effets de lumière;
- torchage ou dégazage;
- chauffage ou refroidissement de l'eau.

En ce qui concerne les émissions, la norme exige qu'elles soient vérifiées:

- les produits de la combustion des compresseurs, des régulateurs immergés, des réchauffeurs à flamme pour la régénération;
- l'évacuation des gaz normale ou accidentelle;
- les liquides huileux provenant de la régénération du séchoir ou des machines;
- dans le cas d'un appareil refroidi à l'eau, la contamination de l'eau par des hydrocarbures dans les échangeurs présentant des fuites;
- l'élimination des déchets (produits chimiques, résidus d'huile et composés organiques chlorés) ;
- l'eau des usines de regazéification.

Un chapitre important concerne l'identification des risques de nature externe à la centrale:

- véhicules de ravitaillement en GNL;
- rayonnement thermique (feu);
- nuages de gaz inflammables, toxiques ou asphyxiants;
- impact de balle;
- phénomènes naturels (éclaircs, inondations, tremblements de terre, etc.);

et de nature interne à la plante:

- pertes de gaz naturel liquide ou gazeux;
- stockage de GPL et d'hydrocarbures plus lourds;
- circulation à l'intérieur de l'usine;
- perte d'autres substances dangereuses, en particulier de réfrigérants inflammables;
- équipement sous pression;
- machines tournantes;
- équipement électrique.

La norme établit les critères relatifs à la conception et à la construction des réservoirs cryogéniques: isolation thermique, fondations, instrumentation pour garantir la sécurité des opérations, protection contre les surpressions. Les dispositions relatives à

la conception du site destiné à héberger l'installation revêtent une importance particulière: de la délimitation et de la possible clôture de la zone potentiellement dangereuse, en particulier de la zone de chargement/déchargement, à la régulation de la circulation automobile à proximité de équipement de protection spécifique.

- **UNI EN 16903**

La norme UNI EN 16903 "Industries du pétrole et du gaz naturel - Caractéristiques du GNL qui influent sur la conception et le choix des matériaux", publiée par UNI en 2015 et mise en œuvre en Italie la même année, fournit des informations sur les caractéristiques du gaz naturel liquéfié et matériaux cryogéniques utilisés dans l'industrie du GNL, [en ce qui concerne](#) le santé ainsi que la sécurité, et est destiné à constituer une référence pour l'utilisation du personnel qui conçoit et exploite des installations de GNL.

La principale caractéristique est que le GNL est un mélange d'hydrocarbures, composé principalement de méthane, mais pouvant également contenir d'autres composants tels que l'éthane, le propane, le butane, l'azote en quantités variables; en fonction de cette variabilité dans la composition, la masse volumique varie entre 420 kg/m³ et 470 kg/m³, et exceptionnellement jusqu'à 520 kg/m³. La température d'ébullition oscille entre -166°C et -157°C, généralement en prenant une valeur moyenne de -160°C.

Le facteur température et surtout le fort gradient thermique affectent de manière significative le choix des matériaux utilisés dans la construction de l'usine, notamment en ce qui concerne la résistance aux fractures dites fragiles. En particulier, pendant les opérations de refroidissement et de chauffage, des contraintes thermiques importantes sont exercées non seulement sur les conteneurs, mais également sur les conduites, qui doivent donc être conçues de manière à assurer la flexibilité nécessaire dans toutes les situations de fonctionnement, même extrêmes ou exceptionnelles, telles que le poids, le vent, la neige, les tremblements de terre.

- **Circulaire VV.FF 3819/2013 - Guide technique et directives relatives à la préparation de projets de prévention des incendies liés aux installations de ravitaillement en GNL avec stations-service cryogéniques pour réservoirs de stockage hors sol.**

Cette circulaire représente l'évolution de la législation antérieure en la matière, qui traitait de la conception et de la construction de systèmes GPL et méthane dans les stations-service de transport routier. La circulaire 3819 prend note de l'innovation technologique la plus récente, consistant en la technique de stocker du méthane liquide dans des conteneurs cryogéniques, adaptant ainsi la législation antérieure sur la prévention des incendies qui ne prévoyait que l'utilisation du méthane à l'état gazeux prélevé sur un réseau fixe ou sur un wagon-citerne.

En particulier, on rappelle la possibilité de stocker le méthane à l'état liquide réfrigéré dans un réservoir cryogénique, généralement positionné au dessus du sol, dans laquelle le produit est maintenu à une pression de quelques bars dans des conditions de température égales à -160°C. L'isolation thermique du réservoir est normalement obtenue par un interspace où le vide est créé. Après le pompage, le méthane liquide est gazéifié au moyen d'un évaporateur normalement chauffé à l'air atmosphérique, à

partir duquel il est normalement stocké à une pression de 220/250 bars dans des cylindres de type traditionnel.

La circulaire fournit des directives pour une conception correcte et de bonnes techniques de construction pouvant aider les Directions Provinciales à évaluer les projets de prévention des incendies, tout en laissant au professionnel la liberté de concevoir selon les méthodes mentionnées dans les DM du 09/05/2007 "Directives pour la mise en œuvre de l'approche d'ingénierie de la sécurité incendie", démontrant la réalisation d'objectifs également avec des systèmes/distances/construction d'installations autres que ceux indiqués dans la circulaire. La norme UNI EN 13645 décrite ci-dessus est spécifiquement mentionnée.

Divers aspects liés à la conception et à la construction du système de distribution routière pour le gaz naturel destiné au transport sont en outre définis:

- emplacement de l'installation: les limites de l'irréalisabilité de l'installation sont définies par rapport au niveau de construction de l'environnement ; par exemple, l'emplacement dans une zone homogène totalement construite, identifiée comme zone A dans le plan municipal général est interdit; dans tous les cas, la correspondance de la zone choisie pour l'installation de la centrale avec les caractéristiques urbaines de la zone doit être attestée par le Maire ou prouvée par la signature d'un technicien qualifié, compétent pour signer le projet;
 - les exigences de mise en œuvre pour tous les composants du système;
 - distance minimale de sécurité entre les éléments dangereux de l'installation et entre ceux-ci et les activités extérieures, en prêtant une attention particulière au positionnement des citernes;
 - comment exploiter l'usine.
- **Circulaire VV.FF 5879/2015 - Guide technique et directives pour la rédaction de projets de prévention des incendies liés aux installations de ravitaillement en GNL avec réservoir cryogénique hors sol dans les installations de service autres que les véhicules automobiles.**

Cette seconde circulaire est une extension de la précédente, car elle concerne toutes les autres applications industrielles utilisant du méthane liquide différent du transport routier.

En ce qui concerne le champ et les limites d'application, les conteneurs cryogéniques présentant les caractéristiques suivantes sont pris en compte:

- installé en permanence sur le sol et connecté en permanence aux installations de l'utilisateur;
- la capacité de stockage maximale ne peut dépasser 50 tonnes.

Les dispositions de mise en œuvre relatives aux éléments significatifs de l'installation sont donc définies:

- réservoirs cryogéniques;
- pompes;
- vaporisateurs pour distribution aux utilisateurs ;
- système de confinement et barrières de confinement en cas de perte;
- torches froid pour émission temporaire de gaz;

- -clôtures et systèmes de sécurité incendie;
- points de remplissage et tuyauterie;
- systèmes de protection électrique au sol, de protection contre les incendies;
- distances de sécurité à l'intérieur de l'installation, entre les différents composants de la même et les zones et structures pertinentes;
- distances de sécurité externes entre l'installation et ses abords;
- les méthodes d'exercice.

En ce qui concerne en particulier la question des distances de sécurité extérieures, extrêmement importante compte tenu de la construction d'une station de stockage desservant les locomotives de manœuvre, la circulaire définit quelques points:

- les bâtiments environnants doivent être distants d'au moins 30 mètres du point de remplissage et d'au moins 20 mètres (pour une capacité de stockage inférieure à 30 m³) ou de 30 mètres (pour une capacité supérieure) par rapport aux réservoirs et aux pompes; ces distances sont augmentées de 50% si les bâtiments ont une destinations d'utilisation publique;
- la distance par rapport aux infrastructures telles que les routes, les cours d'eau doit être conforme aux dispositions des instruments de planification municipale; en particulier, la distance par rapport aux routes utilisées pour la circulation de véhicules doit être supérieure à 15 mètres, la distance aux parcs de stationnement publics étant de 20 mètres;
- la distance des lignes électriques aériennes doit être supérieure à 15 mètres;

Toutes ces distances doivent être mesurées entre l'infrastructure externe (bâtiment, route, etc.) et l'élément "dangereux" de l'installation le plus proche de l'infrastructure elle-même.

2.2 Réglementation spécifique

- **UNECE 110R "SPECIFIC COMPONENTS FOR VEHICLES USING CNG AND LNG IN THEIR PROPULSION SYSTEM**

Le règlement UNECE 110, entré en vigueur en 2014, comprend les exigences relatives à l'approbation des:

- I. composants spécifiques de véhicules à moteur utilisant le gaz naturel comprimé (GNC) et / ou le gaz naturel liquéfié (GNL) pour le système de propulsion;
- II. véhicules en ce qui concerne l'installation de composants spécifiques d'un type approuvé pour l'utilisation de gaz naturel comprimé (GNC) et / ou de gaz naturel liquéfié (GNL) dans le système de propulsion.

Dans la première partie ils sont réglementés la demande d'homologation, les marquages, l'homologation, les spécifications relatives aux composants pour l'alimentation en GNL, les modifications d'un type de composant avec le GNL et l'extension de l'homologation, la conformité de la production, le nom et l'adresse des services techniques chargés des essais de réception et des autorités compétentes en matière de réception.

Le document contient des dispositions relatives aux réservoirs pour GNL; un système doit par exemple être prévu pour éviter que le réservoir de carburant ne soit trop rempli.

Toute modification d'un type de composant pour la fourniture de GNL doit être notifiée à l'autorité compétente en matière de réception qui a délivré l'approbation. La demande d'approbation du composant spécifique ou du composant multifonctionnel

doit être présentée par le titulaire de la marque ou son représentant. Les questions doivent être accompagnées de la documentation suivante en trois exemplaires et des informations suivantes:

- description du véhicule dans lequel toutes les informations pertinentes sont spécifiées;
- description détaillée du type de composant spécifique ou des composants multifonctionnels;
- projet du composant spécifique ou des composants multifonctionnels, suffisamment détaillé et à une échelle appropriée.

À la demande du service technique chargé des essais d'homologation, des échantillons de composants spécifiques ou des composants multifonctionnels doivent être présents. Des échantillons supplémentaires doivent être fournis sur demande.

Si les échantillons du composant pour l'alimentation par GNL soumis pour approbation répondent aux exigences, un agrément est délivré pour ce type de composant.

Le réservoir de GNL doit être équipé au minimum des composants suivants, qui peuvent être séparés ou combinés (un soin particulier sera apporté à la prévention de la capture de GNL):

- la soupape de sécurité contre la surpression
- la vanne manuelle
- la vanne automatique
- le limiteur de flux

La deuxième partie régit la demande d'homologation, l'homologation, les prescriptions relatives à l'installation de composants spécifiques pour l'utilisation du gaz naturel liquéfié dans le système de propulsion d'un véhicule, la conformité de la production, la modification et l'extension de l'homologation d'un type de véhicule, nom et adresse des services techniques chargés des essais de réception et des autorités compétentes en matière de réception.

L'usine de GNL doit comprendre les composants suivants: un réservoir ou des conteneurs de GNL; échangeur de chaleur - vaporisateur de GNL; soupape de sécurité pour la surpression de GNL; système de vidange de GNL; vanne limitant le flux de GNL; tubes d'alimentation et raccords pour GNL; clapet de retenue ou antiretourde; indicateur de pression ou indicateur de carburant; unité de contrôle électronique; détecteur de gaz naturel ; chambre de ventilation scellée.

Un véhicule représentatif du type de véhicule à approuver doit être présenté au service technique qui effectue les essais de réception. L'homologation est délivrée si le véhicule présenté est équipé de tous les composants spécifiques pour l'utilisation du GNL. Un numéro d'homologation est attribué à chaque type de véhicule homologué. Les deux premiers chiffres de ce numéro indiquent la série de modifications, y compris les modifications techniques principales et les plus récentes apportées au règlement à la date de délivrance de l'approbation.

- **ANSF 1/2015 “Réorganisation de la réglementation, norme technique, sous-système matériel roulant. Locomotives de manœuvre dont l'utilisation est limitée dans les zones de service du système ferroviaire italien”.**

Par le décret 1/2015, l'Agence Nationale de la Sécurité Ferroviaire (ANSF) a publié la norme technique nationale pour les locomotives de manœuvre. Outre les nouveaux produits, les locomotives présentant des caractéristiques techniques et de sécurité particulières peuvent également devenir des locomotives de manœuvre. Les

modifications doivent être effectuées par un atelier agréé et selon un projet à présenter au vérificateur de sécurité indépendant et à l'Agence elle-même.

Parmi les normes techniques, il y a les caractéristiques qui doivent obligatoirement comporter les réservoirs de carburant, en particulier ceux-ci doivent être équipés de dispositifs d'aération qui évitent le débordement du carburant et empêchent la formation de surpressions; toutes les ouvertures des réservoirs de carburant doivent être situées au-dessus du niveau maximal pouvant être atteint par le carburant.

Une fois que l'autorisation de mise en service a été accordée, les locomotives de manœuvre, avant d'être opérationnelles, doivent être enregistrées dans le RIN (Registro di Immatricolazione Nazionale). L'enregistrement doit être effectué conformément aux dispositions des "Directives de l'ANSF n. 01/2012 sur l'immatriculation des véhicules sur les registres d'immatriculation nationaux" du 02.29.2012.

- **ANSF 1/2017 du 20/6/2017 - AMIS "Ligne Directrice pour la délivrance de l'autorisation de mise en service de véhicules et de sous-ensembles structurels et de l'autorisation d'utilisation d'applications génériques, de produits génériques et de composants".**

Les lignes directrices établissent les procédures techniques, les conditions et les activités à mener pour la publication par ANSF des mesures d'autorisation, y compris la mise en service de matériel roulant et d'autres sous-systèmes de nature structurelle nouveaux ou substantiellement modifiés, pas encore soumis à la STI (Spécifications Techniques d'Interopérabilité) ou partiellement couverts par la STI sur la base des déclarations de vérification et des certificats CE.

Ces lignes directrices établissent:

- des références pour la définition de la documentation technique à produire, le calendrier de livraison et les méthodes de vérification et d'évaluation du respect des conditions requises pour l'obtention des autorisations;
- les conditions d'octroi d'autorisations pour effectuer des activités d'installation et de test visant à émettre l'autorisation de mise en service;
- les conditions de délivrance des autorisations permettant de contrôler le fonctionnement des produits ou composants génériques, des applications génériques et des premières spécifications, des sous-systèmes structurels et des véhicules en exploitation.

L'Agence autorise la mise en service de sous-systèmes structurels seulement si conçus, construits et installés de manière à satisfaire aux exigences essentielles de ces systèmes lorsqu'ils sont intégrés au système ferroviaire. Chaque fois qu'une intervention est requise sur un sous-système structural ou sur un véhicule en fonctionnement, il incombe au demandeur d'établir le type et l'étendue du changement à effectuer.

Si des mesures sont prises pour modifier un véhicule ferroviaire, les directives relatives à la délivrance de l'autorisation de mise en service doivent être appliquées; au paragraphe 7 on parle de procédures techniques, en particulier au paragraphe 7.2 "Mise en service des sous-systèmes de structure et des véhicules existants après modification". Le cas objet de la présente étude, qui consiste à modifier le système de propulsion d'une locomotive à manœuvrer afin de l'adapter à l'approvisionnement en GNL, peut certainement être qualifié de restructuration et nécessite donc d'une

nouvelle autorisation de mise en service, comme indiqué au point 4. du paragraphe 7.2.3. "Renouvellement ou rénovation nécessitant une nouvelle autorisation de mise en service"; cette catégorie inclut les modifications qui impliquent un changement des caractéristiques de conception essentielles du sous-système.

3. Etat de l'art des manœuvres ferroviaires dans les ports du territoire de coopération qui

Faisant explicitement référence aux zones territoriales du programme (Ligurie, Toscane, PACA, Sardaigne, Corse), une consultation a été lancée avec les Autorités Portuaires et les compagnies de chemin de fer qui effectuent des manœuvres dans les ports de Gênes, Livourne, Cagliari, Toulon, Bastia. Des indications intéressantes ont été recueillies sur la position de ces sujets par rapport à une éventuelle mise en service progressive de locomotives de manœuvre propulsées par Gnl, avec une référence particulière aux exigences et contraintes spécifiques sur la base de choix stratégiques dans cette direction.

- **Genova**

Dans les zones de Porto Antico, de Sampierdarena et de Voltri (terminal PSA), les manœuvres ferroviaires sont effectuées par la société FuoriMuro - Servizi Portuali e Ferroviari Srl, qui est également capable d'intégrer, par l'intermédiaire de sociétés liées au même groupe industriel, l'activité de manoeuvre dans le port avec une traction vers les retroports, reliant Gênes aux principaux centres de logistique et commercial du nord de l'Italie, en offrant à ses clients un service complet, y compris la location et la fourniture de wagons et de caisses.

Pour effectuer les manœuvres, FuoriMuro utilise actuellement différents types de tracteurs, en particulier des modèles LHB 530C, achetés d'occasion et modernisés. C'est une locomotive diesel de marque allemande, fabriquée dans les années 60 et 70 par Linke-Hofmann-Busch, adaptée



particulièrement aux activités de manœuvre. Dans le cadre de renforcement et modernisation de son parc, FuoriMuro disposera d'un parc de 25 moteurs de ce type et serait donc très intéressé par l'évaluation du potentiel d'approvisionnement par GNL de ces véhicules.

Les points d'attention qui, selon FuoriMuro, devraient faire l'objet d'une enquête sont de différents types:

- l'évaluation de la rentabilité en termes de coûts d'exploitation: aujourd'hui, la consommation moyenne de diesel est d'environ 16 lt/h, ce qui, comparé à une moyenne de 6 h d'opérations quotidiennes sur 200 jours/an, donne à titre indicatif une consommation de 20000 lt. de diesel/ année;
- la solution technique relative au positionnement à bord du réservoir de gaz, qui, compte tenu des contraintes d'espace, conduirait, dans le cas d'une alimentation dual-fuel, à la nécessité de réduire la taille du réservoir de diesel;
- la logistique d'approvisionnement, prenant en compte que ces locomotives fonctionnent dans des zones limitées et sont généralement garés à certains points fixes, où des infrastructures de recharge pourraient être installées; la solution idéale

serait celle de conteneurs modulaires montés sur des semi-remorques pouvant être positionnées dynamiquement à proximité des locomotives, solution à compatibiliser avec les normes excluant actuellement cette possibilité;

- une autre solution possible pour assurer l'approvisionnement, à examiner en détail, pourrait être la construction d'une station de liquéfaction locale, située à l'intérieur du parc de manœuvre dans la position la plus facile et la plus sûre, alimentée par le réseau de gaz; cette solution réduirait considérablement le besoin de stockage et éliminerait complètement le problème du transport du méthane liquéfié jusqu'au point de livraison.

• Livorno

Dans le port de Livourne, les manœuvres sont effectuées par Mercitalia Shunting & Terminal (MIST), ex Serfer, une société du groupe Ferrovie dello Stato Italiane; la société opère pas seulement dans le port de Livourne, mais dans nombreux autres ports italiens, notamment Savone et La Spezia. MIST a acquis auprès de Mercitalia une

flotte d'environ 130 locomotives de types très différents. Elle a donc décidé de se concentrer sur trois modèles, précisément les modèles D255, D245 et D214; le parc actuel compte 90 véhicules. Ces véhicules sont progressivement modernisés, tant du point de vue des composants mécaniques que de l'électronique expressément requise par la réglementation en vigueur, en particulier ANSF 1/2015, pour permettre l'exploitation des véhicules sur le réseau national. Cette activité



demodernisation est toujours en cours, il pourrait donc y avoir, en perspective, l'intérêt du MIST d'expérimenter la mise en place d'une de ces locomotives. En ce qui concerne la logistique d'approvisionnement, l'AdSP de Livourne n'a pas encore défini l'emplacement du dépôt de GNL, qui devra être construit pour assurer la fourniture de navires fonctionnant au GNL qui commenceront bientôt à opérer en Méditerranée. Dans tous les cas, une hypothèse opérationnelle pour assurer la fourniture des locomotives de manœuvre pourrait consister à placer un conteneur cryogénique mobile à l'intérieur du parc de manœuvre, dans une position appropriée convenue avec les pompiers, puis à déplacer ce conteneur jusqu'à au dépôt pour le ravitailler et le ramener à la gare.

• Cagliari

Après une vérification approfondie avec l'Autorità di Sistema Portuale del Mare di Sardegna, il est apparu que la question n'était pas d'actualité dans le contexte sarde, car il n'existe en fait aucun service de transport de fret bateau-train sur l'île, et donc aucun service de manœuvre dans les principaux ports de Cagliari et Olbia. Tout le trafic de marchandises à l'intérieur de l'île est géré par camion, tandis que les liaisons avec le continent s'effectuent en chargeant directement les camions ou les semi-

remorques sur les nombreux ferries en service. Les seules activités portuaires de fret sont liées au transbordement dans le port de Cagliari, sans aucun impact aux fins de l'étude actuelle.

Une note historique: jusqu'à il y a quelques décennies, Golfo Aranci, doté d'un grand parc ferroviaire, traitait environ 50% des marchandises entrant/sortant de la Sardaigne par le fer; dans ce parc, ils exploitaient de grandes locomotives de manœuvre, aujourd'hui abandonnées.

- **Tolone**

Dans le port de Toulon, la connexion entre la zone portuaire et le réseau ferroviaire est en construction; la mise en service est prévue pour 2020. La Chambre de Commerce de l'Industrie VAR prévoit de confier ce service à une entreprise privée.

Ils se déclarent intéressés, ils entendent envisager la possibilité d'alimenter les locomotives de manœuvre avec du GNL dans une perspective future, mais pas aujourd'hui, car elles n'assurent pas ces services.

- **Corsica**

Les deux lignes de chemin de fer présentes en Corse se caractérisent par un armement à voie étroite, ce qui implique en fait l'impossibilité de débarquer des véhicules ferroviaires en provenance du continent adaptés aux lignes à voie normale. Et de fait, les seuls services ferroviaires effectués sur ces lignes sont du type passagers. Par conséquent, la question des manœuvres ferroviaires dans les différents ports de Corse n'est donc pas d'actualité, comme l'Office des Transports de la Corse a confirmé.

4. Caractéristiques des locomotives utilisées pour l'étude de cas

Afin de développer l'étude d'ingénierie sur la faisabilité, les solutions techniques et une évaluation générale des coûts liés à la méthanisation d'une locomotive de manœuvre par GNL, il a été décidé de procéder à une étude de cas concrète afin de donner une plus grande confiance aux résultats obtenus. Le choix de l'étude de cas s'est porté sur les locomotives LHB 530C de Fuorimuro de Gênes, grâce au vif intérêt de cette société pour l'étude et à la volonté de soutenir et de fournir des suggestions utiles aux différentes phases de développement de l'activité.

Comme déjà mentionné dans le chapitre précédent, FuoriMuro a choisi de moderniser son parc de locomotives de manœuvre, notamment utilisées dans le port de Gênes, en achetant de nombreux tracteurs d'occasion LHB 530C et en les modernisant dans ses propres ateliers. Dans les images suivantes, on peut voir:

- une première locomotive vient d'arriver d'Allemagne avant d'être modernisée;
- une deuxième locomotive en cours de travail dans l'atelier FuoriMuro ;
- une troisième locomotive parfaitement modernisée opérant dans la zone portuaire.



Lors d'une inspection approfondie réalisée dans l'atelier FuoriMuro, à laquelle assistait également la société Ecomotive Solutions, spécialisée dans la construction et "retrofitting" de moteurs à gaz liquéfiés pour véhicules industriels, ont été rassemblés les éléments utiles à la phase de définition et dimensionnement de la nouvelle solution.



La motorisation préexistante sur ces machines consiste en un moteur MTU 6V396, dont les principales caractéristiques sont énumérées ci-dessous:

- Marque: MTU

- Modèle: 6V396
- Carburant: Diesel
- Suralimentation: Biturbo
- N° de cylindres: 6 à V
- Puissance nominale maximale (vide) : 525 kW a 1800 tours/minute
- Puissance effective: 465 kW a 1680 tours/minute
- Vitesse de rotation maximale: 1932 tours/minute (vide)
- Vitesse nominale au minimum: 750 tours/minute avec une alimentation de 60 kW
- Poids: 2300 kg environ
- Consommation de carburant: 220 g/kwh
- Consommation moyenne de carburant en fonctionnement: 16 litres de diesel / heure
- Capacité du réservoir diesel actuel: 1300 litres

Les images suivantes font référence au moteur MTU 6V396 démonté, lors de travaux sur le banc.



5. Analyse de différentes solutions techniques pour le réaménagement de locomotives

De l'examen de la littérature et des expériences développées dans d'autres contextes, les quatre approches possibles du thème de la méthanisation des locomotives diesel ont clairement émergé:

- la conversion du moteur diesel préexistant en:
 - [a] un moteur entièrement au GNL;
 - [b] un moteur bicarburant diesel/GNL;
- le remplacement complet du moteur diesel existant par:
 - [c] un moteur entièrement au GNL;
 - [d] un moteur bicarburant diesel/GNL.

Chaque solution comporte des éléments positifs et négatifs et il est impossible d'établir a priori quel est le choix optimal, mais il est nécessaire de le réduire de temps

en temps au cas spécifique considéré.

Certains éléments généraux peuvent être pris comme référence:

- du point de vue du coût d'investissement, les solutions [c] et [d] qui prévoient le remplacement complet du moteur préexistant ont un coût plus élevé par rapport aux solutions [a] et [b] qui prévoient la transformation exclusive du moteur préexistant;
- la réduction des émissions et du bruit est nettement plus considérable dans les cas [a] et [c] avec des moteurs 100% GNL par rapport aux cas [b] et [d] avec double alimentation;
- la réduction de la consommation est également plus importante dans les cas [a] et [c] avec 100% de moteurs GNL par rapport aux cas [b] et [d] à double alimentation, car les caractéristiques du GNL conviennent mieux à un moteur avec Cycle Otto comparé à un moteur à cycle diesel;
- la complexité de l'intervention est plus grande, mais le réglage fin a certainement moins d'inconnues, dans les cas [c] et [d] de remplacement par un nouveau moteur par rapport aux cas [a] et [b] de transformation du moteur préexistant;
- enfin la flexibilité opérationnelle qui favorise les solutions [b] et [d] bicarburant par rapport aux solutions [a] et [c].

Ci-dessous sont rapportés les études de cas examinées dans l'étude de cas développée sur les locomotives LHB 530C déjà décrites.

5.1 Solution mixte "dual fuel"

La transformation d'un moteur diesel en un moteur dual-fuel, qui permet l'alimentation mixte par diesel et méthane est relativement simple, car elle laisse la structure du moteur presque inchangée, avec l'ajout d'un carburateur qui introduit dans les chambres de combustion un mélange air/gaz enflammé au bon moment par l'injection d'une petite dose de gasoil qui s'enflamme spontanément permettant au reste de la charge de brûler, en maintenant sensiblement le fonctionnement du cycle diesel.

Cette solution présente des avantages indéniables:

- la transformation du moteur est plus simple et moins coûteuse que la transformation d'un cycle diesel en cycle Otto, qui est plus radicale et pratiquement irréversible;
- il permet de remplacer le diesel par le méthane sans modifier l'architecture du moteur;
- utilise le rendement plus élevé du cycle diesel par rapport au cycle Otto, même si, dans le cas d'un moteur dual-fuel, il ne s'agit pas exactement du même cycle diesel du moteur original fonctionnant par diesel ;
- il offre une grande flexibilité opérationnelle: si cela est envisagé lors de la phase de conception au moment de la transformation, le moteur peut être remis en service qu'à tout moment avec du gazole, par exemple en cas de défaillance du réseau de distribution du méthane;
- permet la réduction des émissions de particules (même plus de 60% par rapport aux aliments traditionnels) et la réduction des émissions de dioxyde de carbone (10-15%);
- offre les avantages économiques liés à la différence de prix entre le diesel et le méthane.

Il existe également certaines négativités, qui limitent l'applicabilité concrète de cette approche, et ont en fait conduit à une plus grande affirmation sur le marché des solutions 100% méthane:

- le degré de substitution du diesel par le méthane atteint sa valeur maximale (normalement entre 80 et 85%) lorsque le moteur tourne à pleine charge et le pourcentage de diesel injecté à chaque cycle de combustion est le minimum nécessaire pour l'allumage du processus (15-20%); dans les régimes transitoires et à faibles charges, la quantité de diesel injecté tend à rester constante ou, dans tous les cas, ne diminue pas proportionnellement à la diminution de charge, et donc son pourcentage sur le carburant totalement consommé par le moteur augmente, ce qui réduit considérablement les avantages en termes de réduction des coûts d'exploitation et des émissions;
- la combustion simultanée complète de deux combustibles très différents l'un de l'autre dans le même air de combustion provoque une dégradation de la qualité des gaz d'échappement, obligeant à l'introduction de dispositifs de post-traitement;
- il est nécessaire de garder à bord les deux systèmes de carburant, ce qui accroît la complexité de l'installation;
- en fonction des contraintes dimensionnelles imposées par le véhicule, il peut s'avérer difficile de faire coexister les deux réservoirs de GNL et de diesel, en sacrifiant leur taille et donc leur capacité;
- il y a enfin une plus grande complexité du système de régulation.

Partant de ces éléments et en les exposant au cas particulier des locomotives de manœuvre et à leurs caractéristiques d'utilisation habituelles, il a été évalué que la solution dual-fuel, bien que moins coûteux du point de vue de l'investissement initial, il n'apporterait pas de réduction significative des coûts de gestion et aurait un impact limité sur l'avantage environnemental.

Il a donc été décidé, avec le soutien des techniciens de FuoriMuro et de la société Ecomotive Solution, de ne pas étudier plus avant cette possibilité, en se concentrant directement sur une solution complète de méthane.

5.2 Conversion du moteur à cycle diesel d'origine en cycle Otto méthane

Dans cette hypothèse de conception, le moteur diesel produit par MTU, actuellement monté sur la locomotive de manœuvre, serait converti pour l'utilisation de méthane et de biométhane en tant que seul carburant de substitution. En particulier, le méthane utilisé pour alimenter la locomotive après la conversion peut être du GNC comprimé ou du GNL liquéfié.

La conversion du moteur du cycle diesel au cycle otto pour méthane implique une série d'interventions sur la mécanique et sur le système électrique du véhicule; les plus pertinents sont énumérés ci-dessous:

interventions mécaniques :

- enlèvement de l'alimentation diesel du moteur (pompe, injecteurs, conduites, câbles électriques, etc.)
- démontage du système d'échappement et du turbocompresseur
- démontage du conduit d'admission
- démontage de la tête
- démontage des bielles et des pistons en retirant le carter d'huile
- changement d'huile dans le carter et dans le réservoir supplémentaire

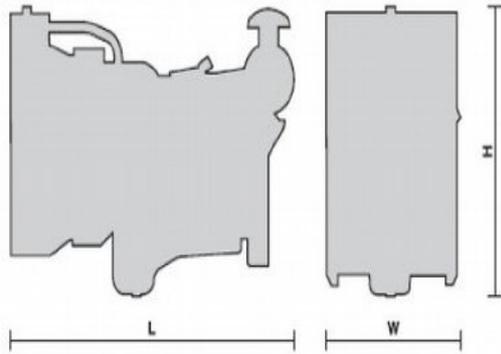
- marquage sur le volant moteur des points de lecture du capteur de phase
- démontage et modification du support de filtre à air
- démontage et modification du tube d'aspiration du turbocompresseur avec insertion de l'unité de mélange de gaz
- construction et assemblage de bouchons sur les passages de gazole, des câbles d'injection et du compartiment de la pompe diesel
- transformation de la tête de moteur de culasse
- remplacement des sièges de soupapes et des soupapes d'échappement
- traitement du pistons
- traitement des bielles
- création et assemblage de manchons en bronze pour la fabrication du compartiment à bougie
- remontage des bielles-pistons et de la tête de moteur avec remplacement du joint
- démontage et modification de la turbine
- installation du papillon de puissance sur l'aspiration
- la construction et l'assemblage de conduits en aluminium pour les pipettes des bougies
- remplacement du couvercle du poussoirs et son traitement pour accueillir les manchons
- réalisation du support de moulinet avec silent block
- installation de bougies d'allumage, câbles de bougies d'allumage, bobines
- installation de la sonde lambda sur le tube d'échappement
- forage de collecteurs d'échappement pour l'installation de thermocouples
- construction d'abri de la chaleur du groupe mélangeur
- construction et assemblage de tuyaux à bride pour l'admission de gaz
- interventions électriques et électroniques
- installation du panneau de gestion du moteur
- retrait de la unité de contrôle diesel et d'une partie du système électrique
- installation d'unités de contrôle Gas ECU
- installation de convertisseurs pour la unité de contrôle
- création de câblage à l'intérieur du tableau
- remplacement du câblage du moteur diesel
- réalisation de câblage avec connecteurs de bobines
- construction du câblage d'arrêt du niveau d'huile
- programmation des unité de contrôle

Comme on peut le comprendre sur la liste des interventions requises, même si elle n'est pas exhaustive, la conversion présente une complexité considérable et il est facile d'imaginer à quel point les phases ultérieures de réglage et d'utilisation du prototype nécessitent beaucoup de temps et peuvent présenter des inconnues.

5.3 Installation sur la locomotive d'un nouveau moteur CURSOR16 100% méthane

L'hypothèse alternative de projet prise en compte consiste à remplacer complètement le moteur actuellement présent sur la locomotive par un moteur de nouvelle génération, déjà né à 100% méthane. Il a été pris comme référence le moteur ESC16MF, défini comme "Multi Fuel Spark Ignited", proposé par la société Ecomotiv Solutions, basé sur le moteur CURSOR16 produit sur FTP.

Cette solution n'est évidemment pas la seule, il existe d'autres producteurs capables de proposer des solutions tout



aussi valables; dans la perspective d'une application industrielle concrète, au-delà du cadre de la présente étude, une enquête plus approfondie sur cet aspect devrait certainement être menée.

CURSOR16 est un moteur à gaz multicomcombustible: il peut en effet être alimenté par différents types de carburants de substitution, notamment le gaz naturel, le biométhane, le gaz de synthèse (gaz de synthèse) le GPL.

Les principales caractéristiques de la version ESC16MF (NG), configurées pour une alimentation en gaz naturel uniquement (avec la même abréviation NG), sont énumérées ci-dessous:

- nombre de cylindres 6
- séquence d'allumage 1-4-2-6-3-5
- layout des cylindres en ligne
- vannes par cylindre 4
- cycle stoechiométrique
- allumage commandé 4 temps
- système d'injections Electronic fuel mixer
- unité de contrôle électronique Ecomotive Solutions SYNSPARK16
- rapport de compression 10,5 : 1
- rotation du volant antihoraire
- volant 14"
- prestations a 1500 rpm
 - puissance continue 350 kW
 - puissance principale 400 kW
 - puissance en stand-by 450 kW
 - consommation du ventilateur 15 kW
- dimensions 2353 mm (L) x 1114 mm (W) x 1605 mm (H)
- poids sec 1450 kg

La consommation, dans certaines conditions de fonctionnement typiques, est indiquée dans le tableau suivant:

Charge	Puissance utilisée	N. tours	Consommation spécifique	Consommation horaire
100%	400 kW/h	1800 rpm	200 g/kWh	80 kg/h
80%	320 kW/h	1800 rpm	200 g/kWh	64 kg/h
50%	200 kW/h	1800 rpm	205 g/kWh	41 kg/h

Les valeurs ci-dessus se rapportent aux suivants paramètres de référence du gaz: T 0 °C, Pa 1 Atm.

Il apparaît évident que la solution consistant à retirer le moteur préexistant et à le remplacer par un nouveau moteur, dans le cas spécifique alimenté uniquement par gaz, est nettement plus simple que celle de la conversion, car elle utilise un moteur standard, déjà testé et fonctionnant dans diverses applications industrielle; il est donc logique de s'attendre à ce que le processus de configuration et de vérification du prototype comporte moins d'inconnues et donc nécessite moins d'effort.

5.4 Alternatives de motorisation possibles

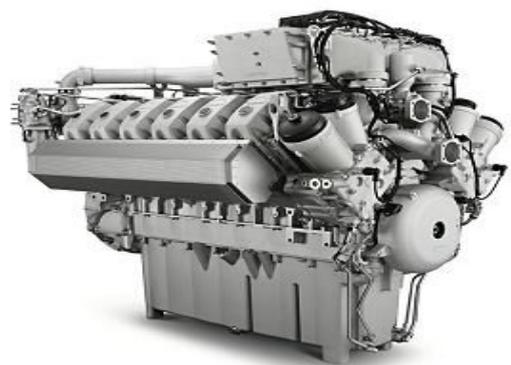
La motorisation CURSOR16 prise comme référence n'est certainement pas la seule possible, il existe différents constructeurs capables de proposer des solutions tout aussi valables. Dans la présente étude, il n'est pas possible de faire une analyse détaillée sur cet aspect, en comparant les caractéristiques de performance et les prix des différentes solutions; cependant, il est possible de fournir un panorama synthétique de certaines des solutions possibles.

Il faut toutefois faire observer que le marché des moteurs GNL pour les applications ferroviaires est actuellement inexistant, car les quelques réalisations actuellement actives ont un caractère de prototype et sont loin d'une caractérisation industrielle. La seule approche possible consiste donc à envisager des moteurs conçus pour d'autres applications industrielles, qui pourraient être utilisés dans le secteur ferroviaire en cas de modifications mineures.

MAN E3262 LE202

Ce moteur, conçu spécifiquement pour le fonctionnement au gaz, est un moteur 4 temps à 12 cylindres de type spark-ignition, d'une puissance nominale de 580 kW, donc un peu plus élevé que celui du Cursor16, par rapport à des dimensions assez similaires (L=1748, W=1243, h=1500).

Son utilisation pourrait être intéressante compte tenu d'une expérimentation concrète visant à doter la locomotive d'une puissance supérieure à celle d'aujourd'hui, une condition qui pourrait être utile dans la perspective de l'adaptation à la norme européenne (750 mt) de la longueur des trains à gérer et de l'augmentation de poids conséquente.



PERKINS 4012TESI

Ce moteur fabriqué par Perkins, une filiale de Caterpillar, fait partie de la famille Serie 4000, une large gamme de moteurs à essence de 6, 8, 12 et 16 cylindres.

Le modèle 4012TESI est un modèle 12 cylindres à 4 temps, caractérisé par une puissance de 632 kW et des caractéristiques dimensionnelles L=2680, W=1880, H=1890.

Ces caractéristiques sont très similaires à celles du moteur précédent et pourraient donc constituer une alternative valable.



MITSUBISHI GS12R-MPTK

Ce moteur est normalement utilisé dans les applications navales, mais on pense qu'il pourrait être installé avec une adaptation éventuelle sur une locomotive. Comme les précédents, il s'agit d'un 12 cylindres à 4 temps d'une puissance de 722 kW à 1 500 tr/min. Les dimensions L=2421, W=1832, H= 2137 sont tout à fait similaires à celles des moteurs précédents.



GUASCOR SFGLD360

Ce moteur est fabriqué par GUASCOR, une société spécialisée dans la conception et la construction de moteurs à gaz, qui fait partie du groupe SIEMENS - DRESSER-RAND. Il a des caractéristiques très similaires aux précédentes: 12 cylindres 4 temps, une puissance de 700 kW à 1800 tours, dimensions L=2637, W=1664, H=1738.



5.5 Éléments supplémentaires résultant du changement de moteur

La définition complète de tous les composants devant être installés en tant que corollaire du nouveau moteur pour offrir une fonctionnalité complète à l'ensemble est actuellement impossible, car elle nécessite un projet exécutif détaillé allant au-delà des objectifs de la présente étude.

Cependant, il est possible de lister les principaux composants, utiles pour caractériser l'intervention et également pour fournir des éléments de nature économique pour l'évaluation budgétaire des coûts :

- réservoir (s) cryogénique (s) pour le GNL: dans cette phase, on peut supposer 1 à 2 réservoirs de 450 litres, diamètre 650 mm, longueur 2000 mm c.a.;

- lignes d'interconnexion de moteurs en acier inoxydable AISI316 fabriquées sur mesure avec des raccords pour systèmes cryogéniques;
- câblage d'interface moteur dédié;
- système de surveillance GPS/GPRS;
- supports, conduits et raccords mécaniques pour l'installation du système;
- systèmes de sécurité supplémentaires, à évaluer également en fonction du processus d'approbation.

5.6 Approbation AMIS par ANSF

Comme déjà mentionné précédemment, une locomotive avec un moteur GNL doit obtenir une autorisation de mise en service pour pouvoir être utilisée sur le réseau ferroviaire, conformément aux directives fournies par le règlement AMIS susmentionné «Mise en service de sous-systèmes structurels et de véhicules existants suite à la modification». En particulier, la mise en service après modification est régie par le paragraphe 7.2; celui en cours d'examen, qui consiste en la transformation du système de propulsion d'une locomotive diesel à GNL, peut certainement être qualifié de restructuration, nécessite une nouvelle autorisation de mise en service et figure au point 4 du paragraphe 7.2.3 «Modification».

Les étapes opérationnelles qui caractérisent le processus d'homologation sont essentiellement les suivantes:

1. La première étape consiste à fournir à l'Agence un fichier contenant la description du projet; ce dossier doit permettre de définir/délimiter le sous-système faisant l'objet d'une intervention de manière non équivoque. Le contenu minimal du fichier est indiqué au paragraphe 7.2.3 des directives et il convient de l'approuver en avant par un VIS (Vérificateurs Indépendants de Sécurité). Ce fichier doit inclure:
 - un rapport descriptif qui doit:
 - être contextualisé à la phase unique à activer et, dans le cas d'interventions complexes impliquant plusieurs sous-ensembles structurels, présenter des sections de texte distinctes pour chacune d'elles;
 - indiquer clairement le type d'intervention sur le sous-système existant;
 - mettre en évidence une comparaison entre la configuration actuelle et la configuration du projet, utile pour identifier la portée des modifications introduites;
 - le cas échéant, être accompagné de dessins permettant de préciser les caractéristiques typologiques, spatiales, fonctionnelles et technologiques du sous-système;
 - la liste des normes de référence;
 - une analyse de risque préliminaire mettant en évidence tout impact sur la sécurité et la pertinence ou non de l'intervention décrite.
2. Dès réception du dossier, l'Agence dispose de quatre mois pour décider si l'importance du travail justifie la nécessité d'un nouvel AMIS ; dans le cas spécifique, il est facile de prévoir que le nouvel AMIS sera nécessaire. À partir de ce moment, la procédure d'obtention de l'AMIS commence, comme décrit au chapitre 8 des directives "Procédure d'autorisation pour la mise en service de types de véhicules".
3. Une demande doit être adressée à l'Agence accompagnée d'une documentation préliminaire; dans un délai d'un mois à compter de la réception de la demande par le

demandeur, l'ANSF convoquera une réunion avec le demandeur et les organismes d'évaluation qu'il aura désignés. Le demandeur présentera une présentation de la documentation jointe à la demande. Cette documentation préliminaire doit contenir:

- rapport descriptif du véhicule indiquant le profil de la mission du véhicule, la configuration à autoriser, ses caractéristiques techniques générales et son domaine d'utilisation éventuel;
 - demande d'accès au système ERATV (European Register of Authorised Types of Vehicle) pour un représentant du demandeur identifié comme responsable de la saisie des données techniques relatives au type de véhicule;
 - liste de référence des spécifications et normes techniques que le demandeur a l'intention d'utiliser pendant tout le processus d'autorisation pour démontrer la conformité du véhicule aux exigences pour l'obtention de l'autorisation;
 - programme général pour la réalisation des activités envisagées dans la procédure d'autorisation, indiquant les délais et les méthodes utilisés par le demandeur pour traiter les phases de la procédure d'autorisation.
4. Dans les trois mois suivant la date de la présentation précédente, l'Agence notifie tout ajout ou changement à apporter à la documentation proposée et à ERATV (ERATV Auxiliary User) créé pour le mandataire dont les données ont été fournies à l'appui de la demande d'ouverture de la procédure technique. Une fois créé l'utilisateur le demandeur peut procéder à l'intégration dans la base de données ERATV, par accès web (<http://eratv.era.europa.eu/eratv>) des données techniques de compétence du demandeur en ce qui concerne le type de véhicule.
 5. Dans les trois mois suivant la notification de l'Agence, le demandeur doit compléter la documentation requise.
 6. À la fin de l'activité de définition de la documentation préliminaire, le demandeur, en référence au programme convenu, peut envoyer la documentation technique requise par le plan de documentation.
 7. Enfin, l'activité des tests suit, qui implique nécessairement cette fois un VIS, comme indiqué aux paragraphes 8.3 "Autorisation temporaire de réaliser des tests en ligne" et 8.4 "Réalisation de tests en ligne" de la directive; l'Agence est autorisée à assister aux tests par ses propres représentants.
 8. À la fin du processus, une fois que l'Agence a été payé conformément au décret n ° 5/2011 du 31 mars 2011 n ° 5/2011, ce dernier émet un AMIS, qui peut être temporaire, conformément au paragraphe 8.6.1, s'il existe non-conformité, ou définitive en cas de conformité. En particulier, dans le cas où le véhicule ne satisfait pas pleinement aux exigences de sécurité définies par les normes techniques qui lui sont applicables (non-conformité), le AMIS contient des mesures d'atténuation appropriées, notamment la surveillance du véhicule lui-même en cours de fonctionnement.
 9. Toute non-conformité doit être éliminée par le demandeur dans un délai raisonnable défini par l'Agence; la preuve de leur résolution doit être fournie à l'Agence au plus tard 30 jours calendrier avant la date d'expiration de l'autorisation temporaire délivrée, afin de permettre la proposition de la période de validité ou la mise à jour.
 10. La résolution de toutes les non-conformités implique l'émission/la mise à jour d'une autorisation de mise en service sans prescription; avec cette étape, le processus d'approbation peut être considéré comme terminé.

6. Impact de l'intervention sur les émissions, la performance, la consommation

Le choix de convertir l'alimentation en énergie des locomotives de manœuvre du diesel au GNL, au-delà de l'évaluation du choix technique optimal, implique une série d'impacts pertinents du point de vue de la durabilité de l'intervention, en termes de coûts directs pour le opérateur, lié à la performance et plus généralement à l'exercice du nouveau support, et indirect en termes de réduction de l'externalité liée à l'environnement.

L'analyse faite dans les paragraphes précédents montre clairement que l'utilisation du GNL dans le secteur ferroviaire est encore à son stade expérimental: les quelques réalisations existantes ont un caractère prototype et il n'est donc pas possible de obtenir de la littérature des évaluations ciblées et consolidées de ces impacts.

La situation est tout à fait différente en ce qui concerne l'utilisation du GNL dans le domaine de la traction routière, où pendant de nombreuses années, et dans d'autres pays plus qu'en Italie, un grand nombre de camions sont équipés de moteurs fonctionnant au GNL. Dans le cas de la route, les évaluations sur les impacts présentées dans la littérature sont nombreuses et sont étayées par des constatations objectives; ces évaluations peuvent également servir de référence pour le cas du chemin de fer, étant donné que les deux contextes opérationnels ne sont pas si différents.

6.1 Impact sur l'environnement

Toutes les études relatives à l'impact sur l'environnement de l'utilisation du GNL montrent des avantages significatifs par rapport au diesel traditionnel:

- réduction de la contamination acoustique;
- réduction des émissions de gaz polluants et de l'effet de serre.

Les émissions de NO_x, de particules, de monoxyde et de dioxyde de carbone sont minimisées; le dioxyde de soufre est presque totalement absent, car le gaz naturel ne contient ni plomb ni traces de métaux lourds. En ce qui concerne l'utilisation des moteurs au GNL pour la traction routière, les données généralement trouvées dans la littérature, et qui diffèrent selon les études pour quelques points de différence, indiquent les réductions suivantes de la comparaison diesel-GNL par rapport au cas routière:

- CO₂: 20-30%
- CO: 70-90%
- SO₂: 99%
- NO_x: 70-90%
- particules: 90%
- composés organiques volatils: 90%

Dans le projet susmentionné CEF CORE GNGas, une évaluation d'études spécifiques sur le secteur ferroviaire a été rapportée, indiquant les réductions suivantes:

- CO₂: 20%
- NO_x: 70%
- CO: 70%
- particules: >70%

Comme on peut le voir, les données contenues dans les deux cas routière et ferroviaire sont très similaires. D'autres données, encore une fois extraites du projet

susmentionné, fournissent une quantification générique des économies environnementales. Les données relatives aux émissions typiques d'une locomotive diesel sont utilisées comme référence:

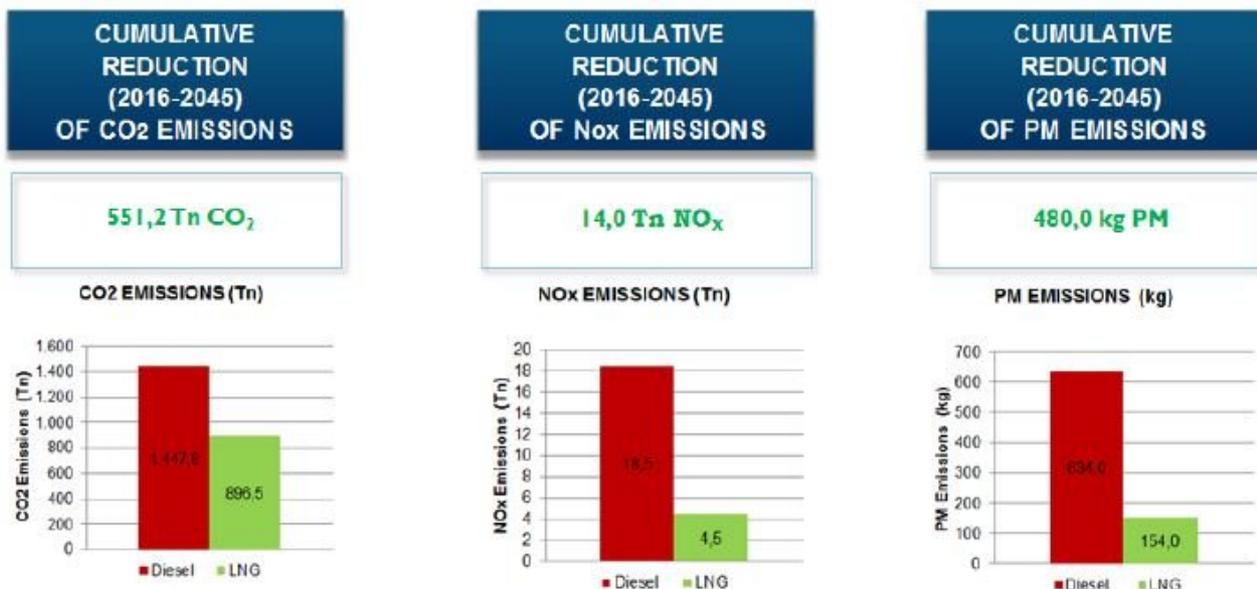
- CO₂: 700 g/Km
- NO_x: 9 g/km
- PM: 0,3 g/km

En termes absolus, les réductions pouvant être obtenues sont donc:

- CO₂: 140 g/km
- NO_x: 6,3 g/km
- PM: 0,2 g/km

En multipliant ces données par la distance quotidienne moyenne d'une locomotive, il est possible d'obtenir une indication sur la réduction en valeur absolue des polluants les plus significatifs suite à la conversion du diesel >>> GNL.

Uniquement à titre d'exemple, les résultats des simulations effectuées par l'Institut Cerdà de Barcelone, relatives à la réduction attendue de CO₂, de NO_x et de PM dans le cas de la gazéification de la flotte de locomotives opérant à l'intérieur du port de Tarragone, calculées sur une durée de 30 ans, sont indiqués ci-dessous :



6.2 Performance et coûts d'exploitation

Comme ce qui a été discuté dans le paragraphe précédent, étant donné qu'aucune évaluation n'est disponible dans la littérature sur les performances, et surtout sur les coûts de fonctionnement d'une locomotive convertie au GNL, il est possible de définir des calculs utiles pour donner au moins quelques indications générales.

Pour évaluer les performances, il est possible de partir des données relatives à l'énergie produite par unité de masse, plus élevée pour le méthane (13 kWh/kg) que pour le diesel (11 kWh/kg). Il est également nécessaire de prendre en compte le rendement moyen d'un moteur, ce qui se traduit par l'énergie transférable sur l'arbre de transmission: dans le cas du moteur à cycle diesel, on considère un rendement moyen de 44%, tandis que dans le cas d'un moteur à cycle Otto avec un taux de compression élevé (obtenu avec du méthane), il est possible d'atteindre un rendement de 40%. Enfin, en considérant le poids spécifique du carburant diesel (800 kg/m³) et du méthane liquide (environ 500 kg/m³), il est enfin possible de calculer l'énergie utile pour la traction pouvant être obtenue à partir d'un litre de carburant.

Le tableau ci-dessous indique les comptages susmentionnés, qui indiquent un rendement par litre de carburant plus élevé dans le cas du diesel (3,9 kWh/l) que dans celui du GNL (2,6 kWh/).

	DIESEL (cycle diesel)	GNL (Cycle Otto)
Energie produite par unité de masse	11 kWh/kg	13 kWh/kg
Efficacité du moteur à cycle variable	44%	40%
Energie convertible du moteur à l'arbre / kg	4,8 kWh/kg	5,2 kWh/kg
Poid spécifique	800 Kg/m3	500 Kg/m3
Energie convertible par le moteur sur l'arbre / lt	3,9 kWh/lt	2,6 kWh/lt

Les données présentées dans le tableau sont indicatives; des évaluations précises ne peuvent être obtenues qu'en analysant ponctuellement les carburants et les performances de moteurs spécifiques.

S'agissant de l'évaluation des coûts de fonctionnement, ceux-ci diffèrent d'un pays à l'autre en fonction des coûts de carburant, lesquels, comme on le sait, ont des régimes fiscaux très différents, y compris, voir le cas italien, le recouvrement des droits d'accises pour certains types d'utilisation.

Certaines enquêtes effectuées auprès des opérateurs du secteur permettent de faire une estimation raisonnable du coût net actuel en Italie sur la base de 1 €/lt pour le diesel et de 0,5 €/lt pour le GNL. Par conséquent, en combinant cette évaluation avec les données relatives à l'énergie utile par litre précédemment obtenue, il est possible de conclure, comme indiqué dans le tableau ci-dessous, que le coût par kWh dans le cas du GNL est environ 25% inférieur à celui du diesel. Cette évaluation n'est que tendancielle, elle nécessiterait de nouvelles enquêtes tenant compte à la fois des volumes de consommation (et donc des conditions d'achat commerciales plus favorables) et des tendances prévisibles de la variation des coûts du carburant dans un avenir proche.

	DIESEL (cycle diesel)	GNL (Cyclo Otto)
Energie convertible du moteur à l'arbre / lt	3,9 kWh/lt	2,6 kWh/lt
Litres de carburant/ kWh	0,26	0,38
Coût indicatif du carburant	1 €/lt	0,5 €/lt
Coût indicatif/ kWh	0,26 €	0,19 €
Estimation des économies de conversion diesel>>>GNL	c.a. 25%	

À titre d'exercice, il est intéressant de paramétrer ces valeurs sur les données de consommation indiquées par Fuorimuro pour ses locomotives:

- consommation moyenne de carburant en fonctionnement: 16 l/h
- fonctionnement quotidien moyen: 6 h
- fonctionnement annuel moyen: 200 jours
- consommation annuelle moyenne/locomotive: 20.000 litres de diesel
- coût du carburant acheté: 20.000 €/ année /locomotive.

Sur la base des estimations économiques précédentes, on peut au moins, à un niveau indicatif, supposer que la conversion du diesel au GNL pourrait entraîner une réduction de ce coût d'achat de 20.000 € à 15.000€ / année /locomotive.

7.Évaluations économiques des investissements pour le réaménagement

Les évaluations qui ont été possibles au cours de cette phase de l'étude sont nécessairement budgétaire et indicatives, et partent des indications fournies par la société Ecomotive Solutions. Il est évident que, lorsqu'il on décidé de procéder à la construction d'un prototype, une analyse plus approfondie des solutions proposées sur le marché par différents fabricants serait nécessaire à l'avance, à la fois pour optimiser la solution technique et pour définir plus précisément les coûts globaux de l'intervention.

Les présentes évaluations sont toutefois utiles pour fournir une première image de l'impact économique que pourrait nécessiter l'intervention de la méthanisation des moteurs de manœuvre.

- Conversion du moteur cycle diesel >>> cycle Otto Metano: 60.000 euros + TVA
 - Fourniture du moteur ESC16MF-NG: 70.000 euros + TVA
 - Autre possibilité: location du moteur ESC16MF-NG pour une période d'essai minimale de 6 mois, remboursable ou restituée à la fin de cette période: 6.000 euros/mois, plus TVA
 - Cuve cryogénique: 15.000 euros + TVA
 - Matériaux divers: 10.000-15.000 euros + TVA
 - Mise au point et essai préliminaire comparatifs, sur environ 10 jours ouvrables: 10.000 euros + TVA
 - Installation, environ 10 jours ouvrables: 10.000 euros + TVA
- Tests et validation, attendus environ 10-15 jours ouvrables: 10.000 - 15.000 euros + TVA.

Il convient également de considérer le coût una tantum lié à l'homologation de la première unité de la locomotive avec le nouveau moteur GNL.

Une évaluation précise n'a pas été possible, d'autant plus que ce n'est pas l'homologation complète d'une nouvelle machine, mais seulement l'homologation de la motorisation sur une machine précédemment homologuée. D'après certaines indications obtenues par les experts du secteur, ce coût una tantum peut être estimé entre 80.000 et 100.000 euros.

8. Considérations sur le réseau de charge

La disponibilité d'installations de ravitaillement en GNL adéquates dans la zone portuaire est une condition essentielle à la faisabilité du projet de méthanisation des locomotives de manœuvre, à la fois dans une phase de prototypage et dans le cas d'une mise en œuvre complète.

Il existe en réalité deux possibilités: ou une station de stockage de GNL est disponible au niveau du port, dans le but de ravitailler les navires en carburant mais à partir de laquelle le gaz destiné à des services portuaires auxiliaires, tels que les locomotives de manœuvre, peut également être fourni, ou un système de ravitaillement autonome doit être fourni à l'aide de citernes mobiles provenant d'autres sources, nationales ou étrangères.

Le thème de la station de stockage de GNL dans le port de Gênes est depuis longtemps à l'étude par l'Autorité Portuaire de la mer Ligure Occidentale, car de nombreux armateurs s'orientent vers ce mode d'alimentation de leur flotte afin de se conformer aux dispositions internationales sur la réduction des émissions polluantes.

La solution est très complexe et conditionnée par divers facteurs structurels du port, tout d'abord par l'extrême proximité des zones portuaires avec les habitations urbaines, ce qui rend difficile le respect des règles de sécurité et répond en même temps à l'opposition des résidents. À ce jour, certaines localisations pour le stockage de GNL ont été examinées dans plusieurs sites possibles: l'ex zone Ilva de Cornigliano, Porto Petroli in Multedo, le nouveau brise-lames de port du Voltri. En outre, des problèmes spécifiques se posent dans chacun de ces sites, notamment le cône d'atterrissage de l'aéroport, qui n'a jusqu'à présent pas permis de conclure. Le Reefer terminal du Savona Vado a également été pris en compte, ce qui entraînerait évidemment des coûts supplémentaires liés au déplacement plus important des barges.

En l'absence de cette infrastructure portuaire, il est nécessaire de fournir un système d'approvisionnement autonome, qui pourrait être mis en œuvre de deux manières différentes:

- un réservoir de GNL local, situé dans le parc dans lequel les locomotives de manœuvre opèrent, ravitaillé périodiquement en carburant par un camion-citerne, exactement comme dans le cas des distributeurs routiers;
- un conteneur cryogénique mobile, pouvant être placé sur l'aire de manœuvre des locomotives, pour être remplacé une fois vide par un autre plein.

La deuxième solution semble certainement plus rapide à mettre en œuvre, car elle ne nécessite pas la construction d'infrastructures fixes, elle est plus souple à gérer, car elle permet d'éventuels changements de positionnement en fonction des besoins spécifiques. Mais selon les circulaires des pompiers, illustrées dans les paragraphes précédents, il semblerait que, à ce jour, cette modalité n'est pas réglementée, et donc impossible à réaliser immédiatement.

Compte tenu de la construction d'un prototype souhaitable, l'aspect du mode de ravitaillement en carburant devrait être soigneusement analysé avec l'Autorité Portuaire et les Pompiers, afin d'identifier la meilleure solution conforme à la réglementation en vigueur.

9. Contacts et merci

- Roberto Bertuccelli - Autorità di Sistema Portuale del Mare di Sardegna
- Jean-Christophe Barbagelata - Chambre de Commerce e de l'Industrie du VAR
- Josè Bassu - Office de Transport de la Corse
- Ivano Toni - Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Settentrionale
- Matteo Pistolesi - Mercitalia Shunting & Terminal
- Guido Porta, Stefano Schiavi, Riccardo Crovetto - FuoriMuro
- Alessandro Sasso - LIBRA Technologies & Services