

# Plan intégré pour la distribution du GNL

## Plan de gestion de la distribution du GNL sur le réseau interne

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

Informations sur le document	
<b>Code du composant</b>	<b>T3</b>
<b>Titre du Composant</b>	<b>Plan du réseau de distribution et de transport du GNL sur le territoire</b>
<b>Code de sortie</b>	<b>T.3.1.1</b>
<b>Titre du document de sortie</b>	<b>Plan de gestion de la distribution du GNL sur le réseau interne</b>
<b>Sujet responsable de l'activité</b>	<b>Département de l'Industrie Région Sardaigne - CIREM Univ. Di Cagliari -</b>
<b>Responsable scientifique de l'UNICA-CIREM pour le compte du Département de l'Industrie</b>	<b>Prof. Paolo Fadda</b>
<b>Coordinateur de l'étude UNICA-CIREM pour le compte du Département de l'Industrie</b>	<b>Ing. Federico Sollai</b>
<b>Personne responsable de l'élaboration du document</b>	<b>MLAB SRL</b>
<b>Version</b>	<b>FINAL</b>
<b>Date</b>	<b>03/03/2021</b>

<b>Version</b>	<b>Date</b>	<b>Extender(s)</b>	<b>Description des changements</b>
FINAL	03/03/2021	MLAB SRL	

Le présent rapport a été réalisé en collaboration avec les partenaires du projet SIGNAL - Stratégies transfrontalières pour la valorisation du gaz naturel liquide (GNL), selon la répartition des tâches prévues dans le formulaire.

Les partenaires impliqués sont:

- Regione Autonoma della Sardegna Assessorato dell'Industria, Settore Energia ed Economia Verde, Italie (P1, chef de projet).
- Centralabs, Italie (P2).
- Office des Transports de la Corse, France (P3).
- Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Settentrionale, Italie (P4).
- Chambre de Commerce et d'Industrie Territoriale du Var, Francia (P5).
- Université de Gênes, Italie (P6).
- Région Ligurie, Italie (P7).



Pour plus de détails et l'analyse des sources uniques, veuillez vous référer aux tâches uniques élaborées par les partenaires selon le formulaire prévu pour le projet.

## Résumé

<b>Résumé</b> .....	<b>4</b>
<b>Index des figures</b> .....	<b>7</b>
<b>Index des tableaux</b> .....	<b>13</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>15</b>
<b>Le projet SIGNAL</b> .....	<b>16</b>
Partenaires du projet SIGNAL.....	18
Objectifs du projet SIGNAL .....	18
<b>1 La région PACA</b> .....	<b>20</b>
<b>1.1 Situation actuelle de distribution du GNL dans la région PACA</b> .....	<b>20</b>
1.1.1 Matrice O/D GNL.....	28
1.1.2 Capacité actuelle du réseau de distribution en région PACA: réseau "primaire" (terminal méthanier)	30
1.1.3 Capacité actuelle du réseau de distribution en région PACA: réseau "secondaire" (stations-service)	31
<b>1.2 Analyse du marché du transport de marchandises et de passagers dans la région PACA</b> .....	<b>32</b>
<b>1.3 Matrices et analyses O/D</b> .....	<b>34</b>
<b>1.4 Quantification des besoins en GNL</b> .....	<b>37</b>
1.4.1 Carburant routier GNL.....	37
1.4.2 Utilisations du gaz naturel .....	39
1.4.3 Analyse de la consommation de carburant des tracteurs routiers en région PACA .....	41
1.4.4 Carburant GNL maritime .....	42
1.4.5 Carburant fluvial GNL.....	45
1.4.6 Carburant ferroviaire GNL.....	46
1.4.7 Utilisation intérieure du GNL .....	48
1.4.8 Utilisations industrielles GNL.....	49
1.4.9 Analyse comparative des scénarios haut et bas.....	50
1.4.10 Résumé des estimations.....	53
<b>1.5 Projets d'amélioration des réseaux de transport et de distribution de GNL: l'importance de s'adapter à l'évolution rapide du marché</b> .....	<b>57</b>
1.5.1 Réseau primaire .....	57
1.5.2 Réseau secondaire (stations-service GNL, soutage des navires) .....	58
1.5.3 Prévision des besoins en carburant pour le GNL .....	58
1.5.4 Approvisionnement des îles .....	60
1.5.5 Les Solutions mobiles de production d' électricité pour les navires à quai .....	60



<b>1.6</b>	<b>Distribution de GNL dans le port de Toulon</b> .....	<b>62</b>
1.6.1	La chaîne d'approvisionnement en GNL, du terminal méthanier au navire .....	63
1.6.2	Avitaillement en combustiblesmarins dans le port de Toulon .....	65
1.6.3	Avitaillement en GNL.....	69
1.6.4	Réglementation portuaire .....	71
1.6.5	Volumes de GNL prévus .....	72
1.6.6	Les routes du GNL pour la rade de Toulon.....	73
1.6.7	Considérations sommaires sur les différents types de transport .....	89
1.6.8	Transport dans la rade .....	89
1.6.9	Développement de l'approvisionnement en GNL.....	98
1.6.10	Résumé et recommandations .....	104
<b>2</b>	<b>La Corse</b> .....	<b>106</b>
<b>2.1</b>	<b>Quantification des besoins en GNL</b> .....	<b>106</b>
<b>2.2</b>	<b>Solution d'approvisionnement et probabilité de mise en œuvre</b> .....	<b>107</b>
<b>2.3</b>	<b>Modélisation du GNL comme carburant vehicule</b> .....	<b>109</b>
<b>2.4</b>	<b>Accessibilité et impact sur le trafic</b> .....	<b>111</b>
<b>2.5</b>	<b>Le schéma de circulation de la Corse</b> .....	<b>118</b>
2.5.1	Graphique de réseau.....	118
<b>3</b>	<b>Sardaigne</b> .....	<b>127</b>
<b>3.1</b>	<b>Le système de règlement</b> .....	<b>127</b>
<b>3.2</b>	<b>Structure démographique</b> .....	<b>127</b>
<b>3.3</b>	<b>Le contexte du transport</b> .....	<b>130</b>
3.3.1	Connexion au monde extérieur .....	130
3.3.2	Le système de transport maritime.....	131
3.3.3	Le système de transport aérien.....	133
3.3.4	Connexions internes.....	134
<b>3.4</b>	<b>Analyse de l'accessibilité de la zone d'étude</b> .....	<b>139</b>
3.4.1	Accessibilité aux principaux aéroports .....	139
3.4.2	Accessibilité aux principaux ports .....	140
<b>3.5</b>	<b>Le port de Cagliari</b> .....	<b>141</b>
3.5.1	Routes d'accès .....	144
<b>3.6</b>	<b>Le port de Porto Torres</b> .....	<b>145</b>
3.6.1	Routes d'accès .....	147
<b>3.7</b>	<b>Le port d'Oristano</b> .....	<b>148</b>
3.7.1	Estimations du trafic de distribution de GNL par les entreprises situées à Oristano .....	150

<b>3.8</b>	<b>Perspectives pour le GNL en Sardaigne .....</b>	<b>153</b>
<b>3.9</b>	<b>Consommation d'énergie en Sardaigne .....</b>	<b>155</b>
3.9.1	Consommation finale d'énergie en Sardaigne 2000 - 2019 .....	155
3.9.2	Secteur des transports .....	165
3.9.3	Secteur de l'agriculture et de la pêche .....	168
<b>3.10</b>	<b>Ventes de produits pétroliers en Sardaigne 2000 - 2019.....</b>	<b>169</b>
<b>3.11</b>	<b>Consommation pour la transformation de l'énergie en Sardaigne .....</b>	<b>176</b>
3.11.1	Consommation de raffinage et marché régional des produits pétroliers .....	176
3.11.2	Consommation par les opérations thermoélectriques .....	177
<b>3.12</b>	<b>Potentiel de pénétration du méthane en Sardaigne.....</b>	<b>179</b>
3.12.1	Scénario d'évolution de la consommation à l'horizon 2030 .....	180
3.12.2	Consommation de produits pétroliers dans les secteurs cibles.....	184
3.12.3	Potentiel réel de pénétration du gaz naturel .....	184
3.12.4	Rôles Réseau de transport de GNL et <i>aval</i> .....	192
<b>3.13</b>	<b>Consommation et potentiel de pénétration du gaz naturel dans le transport routier terrestre</b>	<b>195</b>
3.13.1	Analyse de la consommation énergétique du transport routier en Sardaigne au niveau territorial	195
3.13.2	Analyse de la structure et de la répartition territoriale des réseaux de distribution de carburants pétroliers pour le transport routier en Sardaigne.....	201
<b>3.14</b>	<b>Estimation des flux de trafic léger/lourd sur le réseau routier de la Sardaigne .....</b>	<b>203</b>
3.14.1	Généralités.....	203
3.14.2	Aspects méthodologiques.....	203
3.14.3	Zonage de référence.....	205
3.14.4	Graphique des rues .....	208
3.14.5	Matrice O/D.....	210
3.14.6	Calibrage du modèle.....	213
3.14.7	Simulation de l'état des lieux .....	216
<b>3.15</b>	<b>Estimation <i>bottom-up</i> de la consommation de diesel sur le réseau de Sardaigne .....</b>	<b>223</b>
3.15.1	Analyse des données relatives à la flotte de véhicules en Sardaigne.....	223
3.15.2	Estimation des coefficients de consommation unitaire COPERT/CORINAIR; .....	227
3.15.3	Estimation de la consommation de carburant.....	228
<b>3.16</b>	<b>Analyse du potentiel de pénétration du GNL dans la flotte de camions en circulation.....</b>	<b>232</b>
3.16.1	Analyse de la <i>rotation</i> du parc de véhicules en circulation.....	232
3.16.2	Estimation du potentiel de pénétration du GNL .....	235
<b>3.17</b>	<b>Hypothèses sur le réseau de distribution.....</b>	<b>237</b>
3.17.1	Configuration du réseau de distribution de GNL sur le territoire sarde .....	239
<b>3.18</b>	<b>Sécurité.....</b>	<b>252</b>
3.18.1	Analyse des accidents sur le réseau routier de la Sardaigne.....	254

3.18.2	Acquisition de données sur les accidents .....	254
3.18.3	Encodage des routes sur le graphique .....	257
3.18.4	Calcul du nombre de véhicules impliqués dans des accidents par an .....	259
3.18.5	Calcul de la probabilité d'un sinistre pour la région de Sardaigne .....	262
3.18.6	Calcul de l'indicateur de dommages potentiels .....	265
3.18.7	Personnes dans d'autres véhicules en transit .....	265
3.18.8	Population exposée autour de l'axe routier .....	266
3.18.9	Éléments de vulnérabilité environnementale .....	268
3.18.10	Calcul de l'indicateur de dommages potentiels et résumé des résultats .....	270
<b>3.19</b>	<b>Identification des routes à moindre risque .....</b>	<b>273</b>
3.19.1	Facteur de risque global .....	273
3.19.2	Minimisation des risques et itinéraires routiers .....	275
3.19.3	Assignation au réseau: cas d'une source unique .....	276
3.19.4	Assignation au réseau: cas de plusieurs lieux d'origine .....	282
3.19.5	Remarques finales .....	284
<b>3.20</b>	<b>L'évaluation des bénéfices environnementaux (application à la réalité de la Sardaigne) .....</b>	<b>285</b>
3.20.1	Consommation finale d'énergie .....	286
3.20.2	Facteurs d'émission .....	287
3.20.3	Calcul des émissions - Situation actuelle .....	293
3.20.4	Calcul des émissions - Scénarios "de base" et "de pénétration élevée" .....	295
3.20.5	Résultats de l'analyse environnementale - Secteurs résidentiel, commercial, industriel et du transport maritime .....	300
3.20.6	Résultats de l'analyse environnementale - Secteur thermoélectrique .....	302
3.20.7	Résultats de l'analyse environnementale - Secteur des transports terrestres .....	304
3.20.8	Système d'échange de quotas d'émission de l'UE .....	307
3.20.9	Conclusions .....	310
<b>4</b>	<b>Ports dans la mer Ligurienne .....</b>	<b>311</b>
<b>4.1</b>	<b>Vado Ligure et Gênes .....</b>	<b>311</b>
4.1.1	Projet Easy LNG .....	313
<b>4.2</b>	<b>La Spezia .....</b>	<b>318</b>

## Index des figures

Figure 1:	Schéma théorique de distribution du GNL .....	20
Figure 2-	carte du réseau de distribution de GNL en 2019 .....	21
Figure 3-	évolution du nombre de camions-citernes GNL chargé annuellement de 2014 à 2019 (source Elengy) .....	22
Figure 4 -	Flux totaux de GNL en Région PACA (desserte locale et transit), sources See'Up, Elengy, gaz-mobilite.fr .	24
Figure 5 -	Axe Est .....	25
Figure 6 -	Axe Ouest (sn) et axe Nord (dx) .....	26
Figure 7 -	Flux de la région PACA vers les autres régions françaises; source: See'Up, Elengy .....	26
Figure 8 -	Flux de la région PACA vers les autres pays; sources: See'Up, Elengy .....	27
Figure 9-	Station V-Gaz du Mat de Ricca (Port-Saint-Louis) .....	31
Figure 10-	Station V-Gas à Saint-Martin de Crau .....	31

Figure 11- Station Engie à Aix-en-Provence.....	32
Figure 12- Estimation des échanges routiers en milliers de tonnes par jour internes aux départements, internes à la région et en échange .....	35
Figure 13 - Activité de transport routier dans la région PACA (ORT - ADEME 2018). .....	38
Figure 14- Carte schématique des plateformes logistiques en région PACA.....	39
Figure 15 - Station GNL mobile construite par HAM .....	39
Figure 16 - Part du GNL dans la consommation de carburant des tracteurs routiers en région PACA (Source: See'Up) .....	41
Figure 17 - Tableau des paramètres d'énergie et de solution pour le carburant marin .....	43
Figure 18 - Prévision du mélange de combustibles marins jusqu'en 2050 (DNG VL 2019). .....	44
Figure 19 - le réseau fluvial de Provence-Alpes-Côte d'Azur .....	46
Figure 20 - Carte de la circulation des trains diesel sur le réseau ferroviaire (source: réseau SNCF).....	48
Figure 21- La station de Molveno.....	48
Figure 22- Carte du réseau GrDF en région PACA (zones en violet) .....	49
Figure 23 - Volumes estimés dans les scénarios pessimiste et optimiste (Kt/a) .....	52
Figure 24 - Logistique et transport territorial 2001-2010 (source: <a href="http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr">http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr</a> ) .....	54
Figure 25 - Cadre du transport et de la distribution du GNL en région PACA: potentiel de développement du GNL dans le secteur maritime et portuaire.....	56
Figure 26 - Cadre du transport et de la distribution du GNL en région PACA: potentiel de développement de la filière GNL terrestre: carburant, clients industriels, clients particuliers. ....	57
Figure 27 - Solution mobile d'Air Flow (sn) - <i>Péniche multifonctionnelle de Sofresid (dx)</i> .....	61
Figure 28 - Carte des infrastructures de GNL (2018) extraite de la carte Gas Infrastructure Europe.....	63
Figure 29 - Résumé des chaînes d'avitaillement possibles .....	64
Figure 30 - Répartition de l'avitaillement en tonnes en 2019.....	68
Figure 31 - Répartition géographique du soutage en 2019.....	69
Figure 32 - Schéma des normes européennes pour une infrastructure GNL.....	70
Figure 33 - Architecture de la chaîne d'approvisionnement en GNL à terre .....	73
Figure 34 - Un méthanier et une remorque .....	73
Figure 35 - Camions et conteneurs ISO pour le GNL .....	74
Figure 36- Itinéraire routier de Fos Cavaou/Fos Tonkin à la rade de Toulon .....	75
Figure 37- Réseau routier dans la rade de Toulon .....	75
Figure 38- Architecture de la chaîne d'approvisionnement en GNL par voie maritime.....	76
Figure 39 - Exemples de navires de soutage offshore .....	77
Figure 40- Itinéraire maritime du Golfe de Fos/Panigaglia à la rade de Toulon .....	77
Figure 41- Architecture de la chaîne d'approvisionnement en GNL par rail.....	78
Figure 42- Exemple de transport de GNL par rail: wagon-citerne ou conteneur ISO.....	78
Figure 43- Liaison ferroviaire entre Fos Cavaou/Fos Tonkin et la rade de Toulon .....	79
Figure 44- Architecture de la chaîne d'approvisionnement en GNL via le gazoduc.....	80
Figure 45- Réseau de distribution de gaz .....	81
Figure 46- Unité de liquéfaction .....	82
Figure 47 - Stockage intermédiaire sur des terrains de petite taille .....	83
Figure 48 - Installation de soutage avec réservoir de stockage fixe (Port de Hirtshals, Danemark, pour Fjord Line) ..	85
Figure 49 - Réservoirs de type B: réservoirs prismatiques, sphériques et à membrane .....	86
Figure 50- Petit stockage flottant, exemple de conception préliminaire d'une barge de soutage .....	87

Figure 51- Photo du navire-citerne ENGIE Zeebrugge .....	87
Figure 52- Unité flottante ancrée - FSU .....	88
Figure 53- Schéma de transport routier dans la rade .....	90
Figure 54 - Avitaillement par camion-citerne en 2019.....	91
Figure 55 - Ravitaillement en GNL d'un paquebot, mai 2016 .....	91
Figure 56- Évolution des systèmes de soutage en mode TTS.....	92
Figure 57 - Aperçu de la livraison de GNL à bord du ferry Honfleur.....	93
Figure 58- Schéma du transport maritime dans la rade .....	95
Figure 59- Avitaillement par navire en 2019 .....	96
Figure 60- Barge de transfert avec réservoir de type C.....	97
Figure 61- Le méthanier de Londres.....	97
Figure 62- Prévisions sur l'utilisation du GNL comme carburant dans le secteur maritime .....	99
Figure 63- Nombre total et type de navires alimentés au GNL.....	100
Figure 64- Evolution annuelle de la demande de GNL sur 10 ans .....	102
Figure 65- Exemple de phare pour l'alimentation en électricité des navires à quai.....	103
Figure 66 - carte de repérage géographique des segments circulables pour la livraison de GNL .....	112
Figure 67 - carte de repérage géographique des stations-services proposées pour distribuer du GNL indiquant le temps de parcours et la distance depuis le port de Lisula.....	113
Figure 68 - carte de repérage géographique des nœuds du réseau .....	121
Figure 69 - graphe schématisé du réseau (toute la Corse) .....	122
Figure 70 - carte de repérage géographique des nœuds du réseau (Ajaccio).....	123
Figure 71 - graphe schématisé du réseau (Ajaccio) .....	124
Figure 72 - Carte géographique des nœuds du réseau de la grande agglomération de Bastia .....	125
Figure 73- Graphique du réseau de l'agglomération de Bastia .....	126
Figure 74 - La région de la Sardaigne .....	127
Figure 75 - Distribution de la population dans les provinces de la Sardaigne_2018 (ISTAT). .....	129
Figure 76- Cartographie de la structure de peuplement de la Sardaigne .....	130
Figure 77 - Structure Node-Region-Ville (Source: Cirem - Plan de transport régional).....	131
Figure 78- Le système portuaire de la Sardaigne.....	132
Figure 79- Carte des principaux aéroports de Sardaigne (Source: Sardegna Mobilità) .....	134
Figure 80- Réseau routier en Sardaigne .....	138
Figure 81 - Isochrones 15' des ports sardes (de gauche à droite, Porto Torres, Oristano, Cagliari) .....	140
Figure 82- Orthophoto du vieux port (Cagliari) .....	142
Figure 83- Orthophoto du port du canal (sn) et du pôle pétrochimique (dx).....	144
Figure 84- Routes d'accès au port de Cagliari .....	144
Figure 85- Orthophoto du port commercial de Porto Torres .....	145
Figure 86- Orthophoto du port industriel de Porto Torres .....	147
Figure 87- Carte des routes d'accès au port de Porto Torres .....	148
Figure 88- Orthophoto du port d'Oristano-Santa Giusta .....	149
Figure 89 - Route du dépôt de GNL d'Edison S.p.A. - SS131.....	151
Figure 90 - Route du dépôt de GNL de HIGAS s.r.l. - SS131.....	152
Figure 91 - Route du dépôt de GNL d'IVI Petrolifera - SS131 .....	153
Figure 92 - Consommation d'énergie finale en Sardaigne par source, 2000-2019 (ktep). Source: Élaborations et estimations du REF-E sur la base des données de Terna, MSE, Enea, Gse et de la région Sardaigne. ....	156

Figure 93 - Consommation finale d'énergie en Sardaigne (2019) par source (%). Source: Élaborations et estimations du REF-E sur la base des données de Terna, MSE, Enea, Gse et de la région Sardaigne.....	156
Figure 94 - Consommation d'énergie finale en Sardaigne par secteur, 2000-2019 (ktep). Source: Élaborations et estimations du REF-E sur la base des données de Terna, MSE, Enea, Gse et de la région Sardaigne. ....	157
Figure 95 - Consommation finale d'énergie par secteur, 2019 (%). Source: Élaborations et estimations du REF-E sur la base des données de Terna, MSE, Enea, Gse et de la région Sardaigne.....	157
Figure 96 - Consommation finale d'électricité par secteur, 2000-2019 (ktep). Source: élaboration du REF-E à partir des données Terna.....	158
Figure 97 - Consommation finale d'énergie dans le secteur résidentiel, 2000-2019 (ktep). Source: estimations de l'ENEA et du REF-E sur la base des données de Terna, MSE, ENEA, GSE et de la région Sardaigne. ....	159
Figure 98 - Consommation finale d'énergie dans le secteur tertiaire, 2000-2019 (ktep). Source: Estimations de l'Enea et du REF-E sur la base des données de Terna, MSE, Enea et Gse. ....	161
Figure 99 - Consommation d'électricité dans le secteur tertiaire, 2000-2018 (ktep). Source: élaboration du REF-E à partir des données Terna.....	162
Figure 100 - Consommation finale d'énergie dans le secteur industriel, 2000-2019 (ktep). Source: estimations de l'ENEA et du REF-E basées sur les données de Terna, de l'ENEA, des EMS et de la région Sardaigne.....	163
Figure 101 - Consommation d'électricité dans les secteurs industriels, 2000-2018 (ktep). Source: élaboration du REF-E à partir des données Terna .....	164
Figure 102 - Consommation finale de produits pétroliers dans l'industrie, 2019 (ktep et%). Source: Élaboration REF-E et estimations sur la base des données MSE, Terna, Enea, GSE et RSE. ....	164
Figure 103 - Consommation finale d'énergie dans le secteur des transports, 2000-2019 (ktep). Source: Élaborations et estimations du REF-E sur la base des données de Terna, MSE, Enea, Gse et de la région Sardaigne. ....	165
Figure 104 - Consommation finale d'énergie dans le secteur des transports, 2019 (%) .....	166
Figure 105 - Consommation d'énergie dans les transports par mode, 2000-2019 (ktep). Source: Élaborations et estimations du REF-E sur Terna, MSE, Enea, Gse, Région Sardaigne et données Meta.....	167
Figure 106 - Consommation finale d'énergie dans le secteur des transports par mode, 2019 (%) .....	168
Figure 107 - Consommation finale d'énergie dans l'agriculture et la pêche, 2000-2019 (ktep). Source: Élaborations et estimations du REF-E sur la base des données de Terna, Mse, Enea et de la région Sardaigne. ....	168
Figure 108 - Ventes de produits pétroliers, 2000-2019 (t). Source: Élaboration du REF-E à partir des données de l'EMS .....	169
Figure 109 - Ventes de produits pétroliers, 2019 (t et%) .....	170
Figure 110 - Ventes de diesel, 2000-2019 (t). Source: Élaboration du REF-E à partir des données de l'EMS .....	170
Figure 111 - Ventes de diesel, 2019 (%). Source: Élaboration du REF-E à partir des données de l'EMS.....	171
Figure 112 - Ventes de GPL, 2000-2019 (t). Source: Élaboration du REF-E à partir des données de l'EMS .....	171
Figure 113- Ventes de GPL, 2019 (t et%). Source: Élaboration du REF-E à partir des données de l'EMS .....	172
Figure 114 - Ventes de GPL par mode, 2019 (%).....	172
Figure 115 - Ventes de GPL par mode, 2014-2019 (t). Source: Élaboration du REF-E à partir des données de l'EMS	173
Figure 116 - Volumes de gaz autres que le gaz naturel distribués par les réseaux isolés, 2005-2019 (Mm3) .....	173
Figure 117 - Utilisateurs de gaz autres que le gaz naturel desservis par des réseaux isolés, 2005-2019 (n). Source: élaboration du REF-E à partir des données ARERA.....	174
Figure 118 - Développement des réseaux de distribution de gaz autres que le gaz naturel, 2005-2019 (km). Source: élaboration du REF-E à partir des données ARERA.....	175
Figure 119 - Opérateurs et communes desservis par des réseaux de distribution de gaz autres que le gaz naturel, 2005-2019 (n). Source: élaboration du REF-E à partir des données ARERA .....	175



Figure 120 - Activité de raffinage, 2000-2019 (kt). région Sardaigne et de Saras.	Source: Élaboration du REF-E à partir des données de l'UP, de la 176
Figure 121 - Bilan régional des importations et exportations d'électricité, 2000-2018 (GWh). du REF-E à partir des données Terna	Source: élaboration 177
Figure 122- Composition de la production d'électricité, 2000-2019 (ktep). des données Terna	Source: élaboration du REF-E à partir 178
Figure 123- Composition du mix de production, 2018 (GWh). Terna.	Source: Élaboration du REF-E à partir des données 179
Figure 124- Consommation d'énergie, secteurs cibles et potentiel de pénétration du GN (Source: élaboration REF-E)	180
Figure 125 - Consommation énergétique FINALE 2000-2019 et prévisions et scénarios 2020-2030. Source: Élaborations et estimations du REF-E sur la base des données de Terna, Mse, Enea, Gse et de la région Sardaigne. ....	182
Figure 126- Consommation finale de produits pétroliers dans les secteurs cibles de la méthanisation, 2019 (ktep)	184
Figure 127. Sardaigne: scénarios REF-E de pénétration du gaz naturel à l'horizon 2030 (ktep)	192
Figure 128. Sardaigne: réseau de GNL et <i>aval</i> dans le scénario de base de la pénétration du gaz naturel à l'horizon 2030 (ktep)	194
Figure 129. Sardaigne: réseau de GNL et <i>aval</i> dans le scénario de forte pénétration du gaz naturel en 2030 (ktep)	194
Figure 130- Sardaigne: ventes de carburants pour le transport, 1980-2019 (valeurs absolues)	196
Figure 131- Sardaigne: ventes de carburants pour le transport, 1980-2019 (valeurs relatives)	196
Figure 132- Sardaigne: répartition mensuelle des ventes de carburants, 2019	197
Figure 133- Sardaigne: détail provincial des ventes de carburants, 2019	197
Figure 134 - Ventes de produits pétroliers dans la province de Cagliari, 2000-2019 (ktep)	198
Figure 135 - Ventes de produits pétroliers dans la province de Sassari, 2000-2019 (ktep)	198
Figure 136 - Ventes de produits pétroliers dans la province de Nuoro, 2000-2019 (ktep)	199
Figure 137 - Ventes de produits pétroliers dans la province d'Oristano, 2000-2019 (ktep)	199
Figure 138 - Ventes de produits pétroliers dans la province de Cagliari, 2019 (ktep et%)	200
Figure 139 - Ventes de produits pétroliers dans la province de Sassari, 2019 (ktep et%)	200
Figure 140 - Ventes de produits pétroliers dans la province de Nuoro, 2019 (ktep et%)	200
Figure 141- Ventes de produits pétroliers dans la province d'Oristano, 2019 (ktep et%)	201
Figure 142 - Sardaigne: nombre total de distributeurs par province, septembre 2020 (nombre)	201
Figure 143 - Sardaigne: stations-service par province et type de carburant, septembre 2020 (nombre)	202
Figure 144- Schéma logique des simulations de trafic	204
Figure 145- Directions externes	206
Figure 146- Zonage interne	207
Figure 147 - Modèle de trafic national i-TraM: graphique routier Région Sardaigne	209
Figure 148- Déplacements lourds attirés par zone	212
Figure 149 - Emplacement des stations d'enquête	214
Figure 150 - Calibrage du modèle régional - débits totaux	215
Figure 151- Calibrage du modèle régional - débits élevés	216
Figure 152 - Flux total de véhicules - état de l'art	218
Figure 153 - Flux de véhicules lourds - état de l'art	219
Figure 154 - Résumé du kilométrage global	220
Figure 155- Distribution de la distance parcourue par les véhicules légers	221
Figure 156- Répartition du kilométrage des véhicules lourds	222

Figure 157- Parc automobile régional, 2019, <i>Source: META processing</i> .....	223
Figure 158 - Parc régional de véhicules commerciaux, 2019. <i>Source: Traitement META des données ACI</i> .....	225
Figure 159 - Parc régional de véhicules commerciaux, 2019 .....	228
Figure 160 - Comparaison de la consommation simulée et des ventes de carburant, novembre 2019. <i>Source: traitement META</i> .....	229
Figure 161 - Répartition de la consommation de carburant par classe de route. <i>Source: traitement META</i> .....	229
Figure 162 - Sardaigne: taux de remplacement des camions et des bus, 2010-2019. <i>Source: Traitement META des données ACI</i> .....	234
Figure 163 - Ports de débarquement du GNL .....	240
Figure 164 - Points de réseau pour les utilisateurs fixes.....	243
Figure 165 - Localisation des stations-service GNL - scénario théorique .....	246
Figure 166 - Emplacement hypothétique des stations-service GNL - solution pratique .....	248
Figure 167 - Hypothèses concernant l'emplacement des stations-service GNL - scénario pratique modifié .....	250
Figure 168 - Localisation des accidents sur une base municipale (2014-2018).....	256
Figure 169 - Répartition du kilométrage des véhicules lourds .....	257
Figure 170- Estimation de la probabilité d'un accident .....	264
Figure 171- Identification de la population exposée .....	267
Figure 172 - Identification de la vulnérabilité environnementale.....	269
Figure 173- Carte des dommages potentiels liés aux arcs routiers .....	272
Figure 174 - Carte du coefficient de risque associé au transit d'un camion-citerne cryogénique.....	274
Figure 175- Assignation des mouvements de camions citernes sur les routes à risque minimum à partir du port d'Oristano .....	277
Figure 176 - Assignation des mouvements de camions citernes sur les routes à risque minimum Porto Torres.....	278
Figure 177 - Assignation des mouvements de camions citernes sur les routes à risque minimum à partir du port d'Olbia .....	279
Figure 178 - Assignation des mouvements de camions-citernes sur les routes à risque minimum à partir de Porto Vesme .....	280
Figure 179 - Assignation des mouvements de camions citernes sur les routes à risque minimum à partir du port de Cagliari .....	281
Figure 180 - Assignation des mouvements de camions-citernes sur les routes présentant un risque minimum absolu .....	283
Figure 181- Émissions annuelles totales (en tonnes) divisées par différents scénarios et polluants: NOx et SOx (a), CO, PM2.5 et PM10 (b) .....	300
Figure 182- Émissions de CO2 pour les trois scénarios analysés.....	301
Figure 183- Émissions annuelles totales (en tonnes) divisées par différents scénarios et polluants: NOx et SOx (en haut), CO, PM2.5 et PM10 (en bas) - SECTEUR THERMOÉLECTRIQUE.....	302
Figure 184- Émissions de CO2 pour les trois scénarios analysés - SECTEUR THERMOÉLECTRIQUE .....	303
Figure 185 - Série historique de la valeur quotidienne des titres ETS en euros - <i>Source: ember-climate.org</i> .....	309
Figure 186- Localisation des hypothèses - Vado Ligure .....	311
Figure 187- Localisation des hypothèses - Gênes .....	312
Figure 188- Localisation de la zone interportuaire de Prevarco (ex Italsider) .....	314
Figure 189- Emplacement de la plate-forme surélevée du Port .....	315
Figure 190- Emplacement du port du distributeur Prà .....	315
Figure 191- Localisation du pont Parodi.....	317
Figure 192- Emplacement de la jetée sous-marine de Voltri .....	317



Figure 193- Principales infrastructures routières reliant le port commercial de La Spezia.....	318
Figure 194- Principales infrastructures routières reliant le terminal de Panigaglia .....	319
Figure 195- Schéma alternatif de distribution du GNL .....	320

## Index des tableaux

Tableau 1- Sites de stockage de la répartition des capacités (2019, 250 jours opérationnels/an) .....	30
Tableau 2 - Trafic routier de marchandises exprimé en véhicules-kilomètres par jour.....	34
Tableau 3 - Déplacements individuels (veh*km/jour).....	34
Tableau 4 - Trafic routier de marchandises exprimé en véhicules par jour.....	35
Tableau 5 - Distances en km et temps en voiture entre les principaux chefs-lieux d'arrondissement .....	36
Tableau 6- Trafic fluviaux en tonnes (chargement + déchargement).....	37
Tableau 7- Classification simplifiée des poids lourds .....	40
Tableau 8 - projection sur 10 ans du scénario pessimiste.....	50
Tableau 9 - projection hypothétique d'un scénario optimiste sur 10 ans .....	51
Tableau 10- volumes des scénarios pessimistes et optimistes à 2030 .....	52
Tableau 11 - Capacité et taux d'utilisation des terminaux dans la région PACA .....	62
Tableau 12 - Indication du volume typique de soutage au GNL par catégorie de navire .....	64
Tableau 13- Quantités fournies par les camions-citernes pour les navires de recherche de l'IFREMER .....	65
Tableau 14- Produits de soute fabriqués pour les ferries en 2019 (origine FOS). .....	66
Tableau 15- Données techniques des principaux navires de soutage .....	76
Tableau 16- Tailles typiques des appareils à pression sphériques .....	83
Tableau 17- Part du GNL dans la consommation mondiale de carburant marin .....	99
Tableau 18 - Hypothèses pour estimer la consommation en GNL / an du parc VL et PL .....	109
Tableau 19 - Hypothèses pour estimer le nombre de livraison des stations-services GNL par année .....	110
Tableau 20- temps et distances parcourus pour le ravitaillement en carburant dans les 25 stations proposées .....	117
Tableau 21 - Données considérées et sources.....	120
Tableau 22 - Densité de population dans les provinces de la Sardaigne.....	128
Tableau 23 - Années de population 2016-2017-2018 par province (ISTAT) .....	128
Tableau 24- Dotation en infrastructures routières de la Région Sardaigne (valeurs absolues) - CNIT 2015-2016 ....	136
Tableau 25- Dotation en infrastructures routières de la Région Sardaigne (indicateurs) - CNIT 2015-2016 .....	137
Tableau 26- Étendue des routes nationales et provinciales en Sardaigne .....	138
Tableau 27- Caractéristiques du port de Cagliari.....	143
Tableau 28- Caractéristiques infrastructurelles du port de Porto Torres.....	146
Tableau 29- Caractéristiques infrastructurelles du port d'Oristano .....	149
Tableau 30 - Stock de systèmes de chauffage dans les logements, 2001-2015 (nombre de ménages) .....	160
Tableau 31 - Sardaigne: consommation d'énergie finale pour le chauffage (chauffage, ECS, cuisson) - données non normalisées pour l'effet température, 2001-2015 (ktep). <i>Source: Élaboration du REF-E</i> .....	160
Tableau 32 - Matrice OD par composant de véhicule.....	211
Tableau 33- Volumes et kilométrages.....	221
Tableau 34 - Résumé des volumes et du kilométrage de la situation réelle .....	222
Tableau 35 - Parc automobile régional, 2019, <i>Source: traitement META des données ACI</i> .....	224
Tableau 36 - Résumé des volumes et du kilométrage de la situation réelle. <i>Source: Traitement META des données ACI</i> .....	226
Tableau 37- Consommation par carburant (essence et diesel) et par type de véhicule (léger, lourd, total) .....	230

Tableau 38 - Coefficients d'expansion de la consommation (mois > année).....	231
Tableau 39- Comparaison de la consommation simulée et des ventes de carburant, 2019. Source: traitement META .....	232
Tableau 40- Comparaison de la consommation simulée et des ventes de carburant, 2019. Source: traitement META .....	232
Tableau 41- Sardaigne: nombre de camions et d'autobus, 2010-2019. Source: ACI.....	233
Tableau 42- Sardaigne: premières immatriculations de camions et d'autobus, 2010-2019. Source: ACI .....	233
Tableau 43 - Sardaigne: taux de remplacement des camions et des bus, 2010-2019. Source: Traitement META des données ACI .....	234
Tableau 44 - Sardaigne: incidence estimée en pourcentage des véhicules fonctionnant au GNL, 2025-2030. Source: Traitement META des données ACI .....	235
Tableau 45- Sardaigne: estimation de la consommation de GNL par le trafic commercial lourd, 2030.....	236
Tableau 46 - Emplacement des points d'origine par statut de permis L'emplacement de ces points d'origine est illustré dans la Figure 163.....	239
Tableau 47- Localisation des points de réseau par province et par type .....	242
Tableau 48- Localisation des points de réseau par province et par type .....	242
Tableau 49 - Localisation hypothétique des stations-service avec vente de GNL automobile - scénario théorique.	245
Tableau 50 - Emplacement hypothétique des stations-service avec vente de GNL automobile - solution pratique	247
Tableau 51 - Emplacement hypothétique des stations-service avec vente de GNL automobile - scénario pratique modifié.....	249
Tableau 52 - Points du réseau et demande annuelle de GNL - scénario de base .....	251
Tableau 53 - Voyages par la route.....	258
Tableau 54 - Concentration des flux sur le réseau des routes principales .....	259
Tableau 55 - Taux d'accidents, de blessures et de mortalité sur le réseau routier - tous les accidents .....	260
Tableau 56 - Taux d'accidents, de blessures et de mortalité sur le réseau routier - accidents impliquant des véhicules lourds .....	261
Tableau 57 - Exposition au risque accidentel par route.....	270
Tableau 58 - Distance parcourue par route .....	276
Tableau 59 - Consommation finale d'énergie pour l'année 2019 .....	287
Tableau 60 - Facteurs d'émission utilisés, par secteur et par polluant .....	292
Tableau 61 - Pouvoir calorifique inférieur pour chaque combustible analysé .....	293
Tableau 62- Exemple de calcul des émissions annuelles totales, secteur résidentiel et tertiaire.....	294
Tableau 63 - Émissions totales de la région Sardaigne pour l'année 2019 .....	295
Tableau 64 - Émissions annuelles totales, opérations thermoélectriques .....	295
Tableau 65 - Consommation finale d'énergie prévue en 2030 selon les scénarios supposés .....	297
Tableau 66- Exemple de calcul des émissions annuelles totales, secteur résidentiel, scénarios BASE et HAUTE PENETRATION.....	299
Tableau 67 - Changements en pourcentage des émissions annuelles totales.....	301
Tableau 68: Évolution en pourcentage des émissions annuelles totales - SECTEUR THERMOÉLECTRIQUE .....	303

## Introduction

Ce rapport décrit le plan de distribution du GNL dans les régions du partenariat et les impacts sur le réseau de transport modélisés par un modèle de trafic.

Pour chacune des zones d'étude analysées, le Plan a abordé la question de la demande de GNL sur le territoire, actuelle et prévue, de l'offre de transport actuelle et prévue, des flux de transport actuels et prévus. L'estimation des besoins en GNL a porté sur la consommation de carburants pour le transport (routier, maritime, fluvial et ferroviaire) et celle des différents secteurs (résidentiel, industriel et tertiaire) à l'horizon 2030. L'offre de transport concernait à la fois les réseaux de gazoducs, les réseaux routiers pour le transport routier et les réseaux ferroviaires pour le transport ferroviaire. Pour l'analyse des flux par route et des impacts relatifs sur la mobilité, les différents itinéraires reliant les terminaux de stockage et les utilisateurs potentiels ont été analysés, également à l'aide de modèles de trafic capables de représenter l'offre et la demande de transport. L'estimation de l'offre et de la demande de transport routier a également permis d'identifier le besoin et l'emplacement des stations-service pour le ravitaillement en GNL. En ce qui concerne le secteur maritime, le Plan a identifié les voies de ravitaillement des navires en rade dans les modes disponibles par voie terrestre (camions-citernes ou trains) et par voie maritime (navires de soutage et allèges).

Le plan a également abordé les implications du camionnage en matière de sécurité et l'identification de routes à moindre risque.

Vous trouverez ci-dessous la liste des sujets traités dans le plan pour chaque domaine d'étude:

1. La demande d'énergie dans la zone d'étude pour les secteurs du transport terrestre, maritime et fluvial, et pour les utilisateurs domestiques, industriels et tertiaires;
2. Capacité du réseau de distribution
3. Système d'accessibilité territoriale
4. Itinéraires de distribution par route, chemin de fer et gare routière
5. Perspectives et estimations des besoins énergétiques à l'avenir
6. Estimation des flux de trafic
7. Analyse de la sécurité des transports
8. Évaluation des avantages environnementaux

En ce qui concerne les aspects suprarégionaux, les réglementations et conventions internationales, les stratégies et politiques européennes, la demande de carburant et les

caractéristiques technologiques et infrastructurelles du GNL pour le stockage et le transport, il est fait référence aux lignes directrices élaborées dans le cadre du projet SIGNAL.

## Le projet SIGNAL <sup>1</sup>

Le projet SIGNAL, qui bénéficie d'un financement FEDER de 1 613 654,63 €, fait partie intégrante d'un cluster de 4 projets GNL (tous cofinancés par le programme INTERREG Italie-France Maritime) axés sur l'amélioration de la durabilité des activités portuaires et visant la création d'un espace maritime interrégional commun dans le nord de la Méditerranée, qui deviendra une référence pour le transport maritime propre dans le futur.

Les projets du Pôle sont

- GNL FACILE,
- GNL-PROMO
- TDI RETE-GNL
- GNL SIGNAL

Les principaux objectifs des projets appartenant au Cluster, ainsi que leurs éventuels chevauchements avec le projet SIGNAL, sont résumés ci-dessous.

- **GNL FACILE - GNL Integrated ACcessible Source for Efficient Logistics:** le projet vise à réduire l'utilisation des carburants les plus polluants et la dépendance au pétrole dans les ports commerciaux. Comme le stipule la directive 2014/94/UE (directive DAFI), chaque port maritime doit disposer d'un point de ravitaillement en GNL, en mer ou à terre, fixe ou mobile. Le projet GNL FACILE vise à aider les ports de la zone de coopération à réaliser les activités suivantes:
  - Priorité et test des solutions GNL à petite échelle;
  - création de deux infrastructures mobiles dédiées au ravitaillement en GNL des navires maritimes ou terrestres dans les ports;
  - mise en œuvre de 8 actions pilotes dans les ports du projet (Livourne, Gênes, Piombino, Bastia, Cagliari, Savone, La Spezia et Toulon) avec des stations de ravitaillement mobiles afin de tester l'applicabilité immédiate du ravitaillement en GNL;

---

<sup>1</sup> Le projet SIGNAL, d'une durée de 30 mois, est financé dans le cadre du 2ème Avis Interreg Maritime ITA-FRA 1420 dans l'Axe prioritaire 3 - Améliorer la connexion des territoires et la durabilité des activités portuaires et dans le cadre de l'objectif spécifique 7C2 - Améliorer la durabilité des activités portuaires commerciales en contribuant à la réduction des émissions de carbone.

- la démonstration aux opérateurs, et pas seulement dans les ports, du fonctionnement des technologies de carburants alternatifs.
- **GNL PROMO - Étude et actions conjointes pour promouvoir l'utilisation du GNL dans les ports commerciaux:** le projet PROMO-GNL relève le défi de promouvoir et d'accélérer l'adoption du GNL dans les opérations portuaires et maritimes. L'objectif est de mettre en place un cadre coordonné d'études de faisabilité conjointes favorisant les choix pour la promotion d'une utilisation optimale du GNL comme carburant moins polluant dans les ports commerciaux de la zone de coopération. Le partenariat est représentatif des principaux acteurs publics de la zone de coopération avec le soutien de la recherche universitaire et industrielle. En outre, le projet est coordonné avec tous les autres projets GNL de la même composante maritime Italie-France. Les études de faisabilité envisagées se concentrent sur les éléments communs et les spécificités territoriales. Les actions de promotion adressées aux acteurs clés sont basées sur un cadre commun d'options optimales.
- **TDI RETE-GNL - Technologies et dimensionnement des installations pour le réseau primaire de distribution de GNL dans les ports de la zone transfrontalière:** le projet vise à identifier des solutions technologiques et productives pour la distribution et le soutage de GNL dans les ports de la zone transfrontalière sur la base de normes et de procédures opérationnelles partagées. Le projet identifie l'emplacement possible des usines et des dépôts du réseau de distribution primaire, en vérifiant leurs externalités potentielles et leur durabilité économique-financière. En effet, la diffusion récente du gaz naturel liquéfié (GNL) dans les ports nécessite la mise en place d'un système d'infrastructures favorisant les logiques de corridors et l'établissement d'un réseau de distribution fiable, sûr et intégré. La création d'une telle infrastructure implique des décisions stratégiques concernant l'emplacement des installations de soutage, de stockage et de fourniture de GNL en fonction de leur taille selon une logique systémique.
- **GNL SIGNAL - Stratégies transfrontalières pour l'exploitation du gaz naturel liquéfié (GNL) -** La nature stratégique du projet découle de sa valeur interrégionale, du positionnement de la zone maritime transfrontalière IT-FR dans le nord de la Méditerranée et des retombées liées au développement de compétences intégrées pour le développement d'un système d'infrastructure commun. L'approche transfrontalière est imposée par la densité des services maritimes ayant une origine/destination dans la zone du projet et par la nécessité de disposer d'installations aux caractéristiques technologiques homogènes. Les résultats du projet consistent en la préparation de rapports pour la définition et la diffusion de normes et procédures technologiques communes pour le soutage du GNL et un plan d'action intégré au profit des ports. Alors que les ports de la zone du programme liés au projet TDI RETE-GNL appartiennent en grande partie à des réseaux centraux,

ceux inclus dans le projet SIGNAL appartiennent à la fois à des réseaux centraux et à des réseaux complets et, de plus, ils présentent des différences cohérentes en termes de domaines de marchandises, en distinguant les terminaux de cargaison polyvalents, les conteneurs de cargaison générale, les terminaux de vrac solide, les terminaux de vrac liquide, la construction navale, les terminaux de passagers, les marinas et "autres". Cette dernière catégorie comprend des activités qui ne sont pas homogènes du point de vue de la consommation nature/énergie, comme les activités logistiques, l'entreposage, etc.

## Partenaires du projet SIGNAL

SIGNAL implique un partenariat cohérent avec les besoins du projet et avec la stratégie d'intervention et offre une couverture géographique complète des territoires de l'Espace de Coopération.

Les partenaires impliqués sont:

- Regione Autonoma della Sardegna Assessorato dell'Industria, Settore Energia ed Economia Verde, Italie (P1, chef de projet).
- Centralabs, Italie (P2).
- Office des Transports de la Corse, France (P3).
- Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Settentrionale, Italie (P4).
- Chambre de Commerce et d'Industrie Territoriale du Var, Francia (P5).
- Université de Gênes, Italie (P6).
- Région Ligurie, Italie (P7).

## Objectifs du projet SIGNAL

Le projet INTERREG Italie-France Maritime "Stratégies transfrontalières pour la valorisation du Gaz Naturel Liquide" (acronyme **SIGNAL**) vise à définir un système intégré de distribution du GNL dans les cinq territoires partenaires impliqués (Ligurie, Toscane, Sardaigne, Corse et Région PACA<sup>2</sup>), qui partagent actuellement une inadéquation par

---

<sup>2</sup> La région Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA) est l'une des 18 régions administratives de France, à l'extrême sud-est du continent, dont la capitale est Marseille. Elle compte une population d'environ 5 millions d'habitants et constitue la troisième région économique de France.



rapport à la disponibilité des ressources en GNL dans les ports et les sites de stockage et sont désireux de transformer l'opportunité offerte par le GNL en valeur ajoutée, avec l'objectif ultime de réduire les émissions polluantes produites par le secteur des transports dans la zone territoriale considérée par le projet.

Grâce aux politiques d'exploitation et à une plus grande utilisation du GNL dans les zones maritimes et portuaires, le projet vise à contribuer à la réduction des émissions de CO2 et à améliorer ainsi la durabilité des activités portuaires et commerciales.

En résumé, le projet favorise:

- a) le développement de modèles transfrontaliers pour l'optimisation du réseau maritime;
- b) la mise en œuvre de plans pour l'emplacement des zones de stockage et de distribution de gaz naturel liquide (GNL) dans les ports;
- c) l'adoption de stratégies transfrontalières pour l'utilisation et l'exploitation du GNL dans les ports de Ligurie, Sardaigne, Toscane, Corse et PACA.

L'utilisation du gaz naturel liquéfié, qui vise à améliorer la durabilité des activités portuaires et à réduire les émissions de CO2, nécessite, d'une part, la création d'un système d'infrastructure basé sur un réseau fiable et sécurisé et, d'autre part, la prise de décisions stratégiques concernant l'emplacement des sites de stockage et d'approvisionnement en GNL.

Grâce aux trois composantes de mise en œuvre (T), le projet SIGNAL:

1. définit un Plan intégré pour la gestion de l'approvisionnement en GNL par voie maritime, à partir d'une analyse de la réglementation et de l'offre et de la demande actuelles de GNL (T1 "Plan du réseau d'approvisionnement");
2. définit un Plan de localisation des sites de stockage de GNL dans les ports de commerce de la zone de coopération, basé sur une analyse des bonnes pratiques existantes et une analyse des contextes territoriaux (T2 "Plan de localisation des sites de stockage de GNL dans les ports de commerce");
3. définit un plan de gestion pour la distribution du GNL entre la Ligurie, la Sardaigne, la Toscane, la Corse et PACA, en commençant par une analyse des coûts et des avantages de la structure de réseau prévue.

## 1 La région PACA

Afin de définir des scénarios pour la région PACA, il est nécessaire de considérer, d'une part, les sources d'approvisionnement en GNL pour la région et, d'autre part, les utilisations possibles du GNL et leur potentiel de développement respectif. Le schéma suivant décrit ces différents composants de la chaîne du GNL.

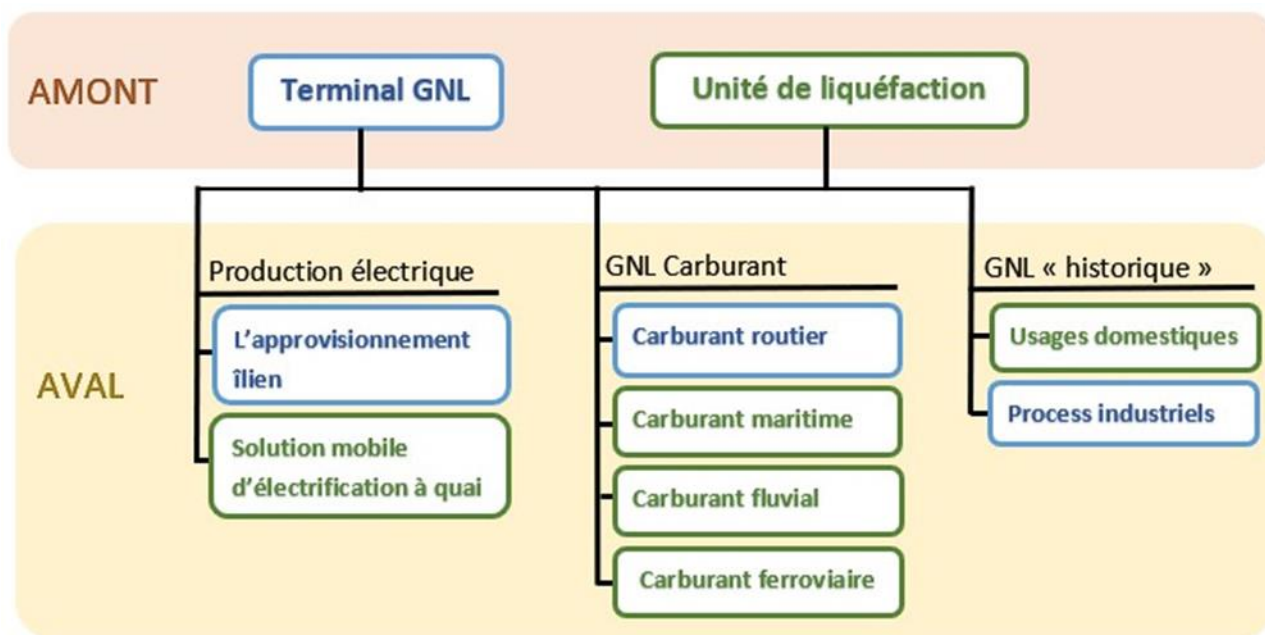


Figure 1: Schéma théorique de distribution du GNL

A travers l'analyse de chacune de ces composantes, il est possible de définir deux scénarios bas/haut du réseau de distribution sur les dix prochaines années. Chacune d'entre elles, pour des raisons différentes, possède des incertitudes de projection qui sont estimées en volume dans ce rapport. Ces projections sont ainsi décrites pour tenter de définir la manière dont le réseau de distribution va se développer dans la région PACA et illustrées par une carte en conclusion.

### 1.1 Situation actuelle de distribution du GNL dans la région PACA

La majorité du GNL arrivant dans la région PACA transite par les terminaux méthaniers de Fos sur Mer: Fos Tonkin et Fos Cavaou. Le GNL est transporté par des méthaniers de grande capacité (environ 150 000 mètres cubes de GNL par chargement) depuis des usines de liquéfaction de gaz naturel situées dans d'autres pays.

Une fois déchargé, il est stocké dans les réservoirs du terminal. La majeure partie est ensuite regazéifiée et injectée dans le réseau national de transport de gaz naturel. C'est la fonction traditionnelle d'un terminal méthanier.

Une petite partie des volumes reste à l'état liquide et est consommée localement



- par des clients industriels ou des sites consommateurs de gaz naturel non raccordés au réseau de gaz naturel
- par des stations-services GNV,
- par des navires fonctionnant au GNL.

Ce sont les usages GNL dits « small scale » (par opposition aux usages « large scale » précédemment mentionnés), terme utilisé pour désigner les volumes qui sortent du terminal méthanier à l'état liquide pour les besoins de consommation de l'hinterland du terminal.

Actuellement, l'acheminement du GNL small scale depuis le terminal vers les points de consommation se fait exclusivement par camions citernes. En 2019, sur les 82.2 TWh de gaz naturels reçus dans les terminaux de Fos, les usages small scale ont représenté 1.8 TWh (l'équivalent de 6359 citernes) soit l'équivalent d'un peu moins de 2 cargaisons standard.

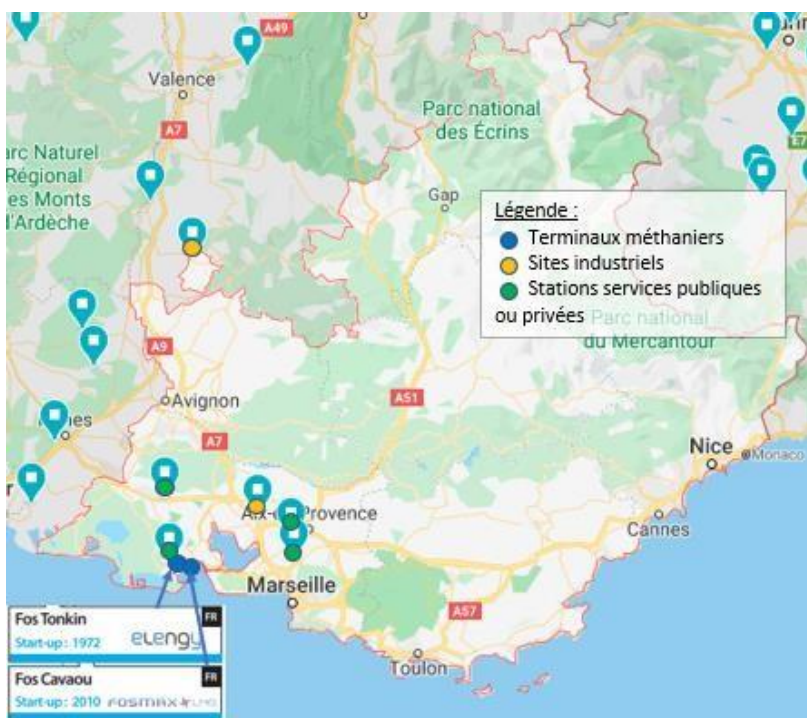


Figure 2- carte du réseau de distribution de GNL en 2019

Les perspectives d'approvisionnement des deux terminaux GNL sont très bonnes car:

- Le GNL est une ressource abondante dans le monde entier;
- les deux terminaux sont bien positionnés pour recevoir un approvisionnement permanent à un prix compétitif au cours des prochaines années (voire décennies). Ils bénéficient d'une position favorable car ils sont situés à proximité des principales sources de production de GNL (Algérie, Nigeria) et sont les premiers terminaux,

après le canal de Suez, à être connectés aux marchés du gaz liquide et du gaz en eau profonde d'Europe occidentale, ce qui renforce encore leur attrait.

- Les volumes entrants actuels dépasseront de loin les besoins des utilisations à petite échelle.
- la prévision de la croissance du commerce du biométhane liquéfié, qui est parfaitement interchangeable avec le GNL d'origine fossile

En résumé, il n'y a aucun risque de pénurie de GNL en amont de la chaîne, les flux continueront à s'écouler vers Fos, qui restera bien sûr le point d'approvisionnement en GNL de la région PACA pour les décennies à venir).

Depuis l'émergence des besoins à petite échelle et la mise en service de chargement des citernes à Fos Tonkin en 2014, la demande à petite échelle, à Fos, n'a cessé de croître:

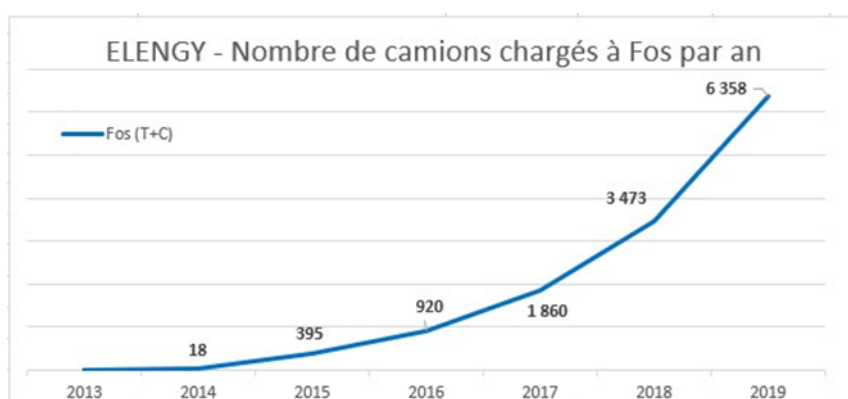


Figure 3- évolution du nombre de camions-citernes GNL chargé annuellement de 2014 à 2019 (source Elengy)

Fos Terminals s'adapte en permanence pour répondre à la croissance et à l'évolution des besoins, comme en témoignent les augmentations successives de la capacité des stations de chargement à Fos Tonkin ainsi que, en 2019, l'installation de 2 quais de chargement de pétroliers à Fos Cavaou.

Outre le chargement de GNL par des navires-citernes, le chargement de GNL par des méthaniers ou des barges est appelé à se développer, pour le soutage ou l'approvisionnement des îles. Ce service est désormais disponible dans les deux terminaux. Par ailleurs, l'augmentation des volumes et le développement de dépôts satellites de stockage justifient un transport massif de GNL par voie ferroviaire dans un avenir proche: ELENGY développe un projet de chargement de GNL par train directement depuis le site de Fos Tonkin.

Enfin, l'approvisionnement en GNL des terminaux de Fos devrait devenir plus écologique à l'avenir, soit par la production locale de biométhane liquéfié ou de méthane synthétique, soit par l'importation de sites de production plus éloignés:

- En ce qui concerne la production locale, le projet pilote Jupiter 1000 est un premier pas dans cette direction. Ce projet, développé par GRTgaz et situé à proximité immédiate du terminal de Fos Tonkin, vise à transformer l'H2 et le CO2 verts produits dans la zone du port industriel de Fos en méthane de synthèse: pour l'instant, ce méthane est prévu pour être injecté dans le réseau de transport (à l'état gazeux), mais il pourrait être liquéfié puis distribué par les quais de chargement des camions-citernes du terminal.
- Une autre solution est l'importation à grande échelle de biométhane liquéfié ou d'e-GNL produit, par exemple, dans des zones à fort potentiel. Le GNL passerait alors du statut de source d'énergie de transition à celui de source d'énergie de destination, sans aucune incidence sur les utilisations finales, le biométhane liquéfié étant parfaitement interchangeable avec le GNL d'origine fossile.

Le total des flux de transport et de distribution de GNL dans la région PACA s'est élevé à 120 000 t en 2019 (Figure 4). Ils ont doublé entre 2018 (60 kt) et 2019 (120 kt).

Ce tonnage correspond au volume total des flux de GNL dans la région PACA pour le service local et le transit en sortie des terminaux méthaniers de Fos Tonkin et Fos Cavaou. Il ne comprend pas:

- les flux maritimes de rechargement ou de transbordement de GNL dans les terminaux de Fos Tonkin et Fos Cavaou: ces flux ne sont liés à la région PACA que par la localisation des terminaux mais, au-delà, ne représentent pas un enjeu particulier pour la région.
- Les flux de transport de GNL non originaires des terminaux de Fos et transitant par la Région PACA: ces flux proviennent principalement d'Espagne et sont destinés à l'Italie. Ils sont relativement petits à 3000 t<sup>3</sup>.
- les flux de distribution des stations de ravitaillement en GNL: la comptabilisation de ces flux équivaudrait à un double comptage avec les flux de ravitaillement des stations-service.

---

<sup>3</sup> 2017, estimation de See'Up basée sur des données provenant de <http://oec.world>.

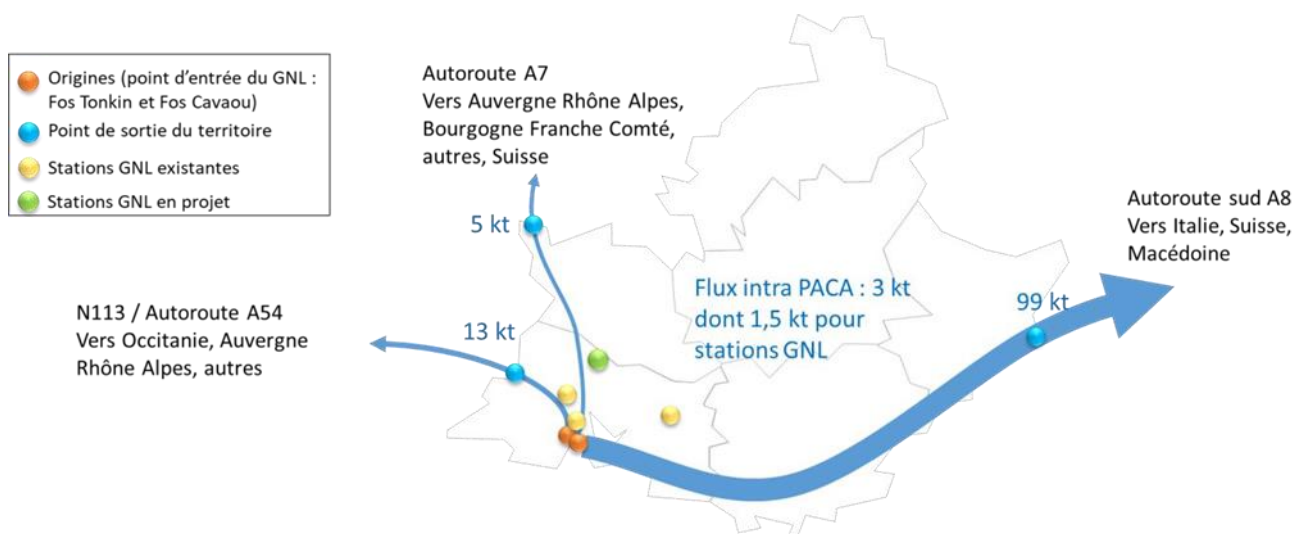


Figure 4 - Flux totaux de GNL en Région PACA (desserte locale et transit), sources See'Up, Elengy, gaz-mobilite.fr

La lecture de la carte permet de mettre en évidence les éléments suivants:

- Les points d'origine des flux de transport et distribution en PACA sont également situés en PACA (hors les quelques flux transitant depuis l'Espagne non représentés sur la carte). Ils sont concentrés sur deux terminaux situés dans le port de Marseille-Fos: Fos Tonkin et Fos Cavaou. Il n'existe pas de flux à destination de la Région PACA qui auraient leur origine hors de la Région.
- les points de destination en région PACA sont de deux natures:
  - es stations-services de GNL carburant: 3 stations existent actuellement, situées sur les communes de Port-Saint-Louis-du-Rhône, Saint-Martin-de-Crau et Aix-en-Provence), 1 station est en projet (sur la commune de Plan d'Orgon).
  - Les autres usagers (industriels, agriculteurs, stations privées en particulier): les points de distribution ne sont pas représentés sur la carte pour des raisons de confidentialité.
- Les flux ayant pour origine et destination la Région PACA sont relativement faibles. Ils s'élèvent à 3000 tonnes en 2019, soit 2,5% des flux totaux considérés, principalement à destination des stations-services (50% des volumes)
- La majorité des flux correspond à des flux sortants de la Région Paca (ayant pour origine les terminaux de Fos)
  - Principalement à destination de l'Italie: 99 000 t en 2019 (80% des flux totaux considérés)
  - Puis d'autres régions françaises: 15% des flux

- Le reste est à destination d'autres pays (2,5%): Suisse, Macédoine, Espagne.
- Les flux empruntent principalement les grands axes autoroutiers, avec 3 points principaux de sortie du territoire:
  - Vintimille / Autoroute A8 à la frontière franco-italienne: pour les flux en direction de l'Italie, de la Macédoine et d'une partie de la Suisse (Figure 5).
  - Arles / N113 - Autoroute A54 à l'ouest de la région PACA: pour les flux en direction des régions Occitanie, Auvergne-Rhône-Alpes en particulier (Figure 6)
  - Bollène / Autoroute A7 au nord de la région PACA pour les flux en direction des régions Auvergne-Rhône-Alpes, Bourgogne-Franche Comté en particulier (Figure 6).



Figure 5 - Axe Est



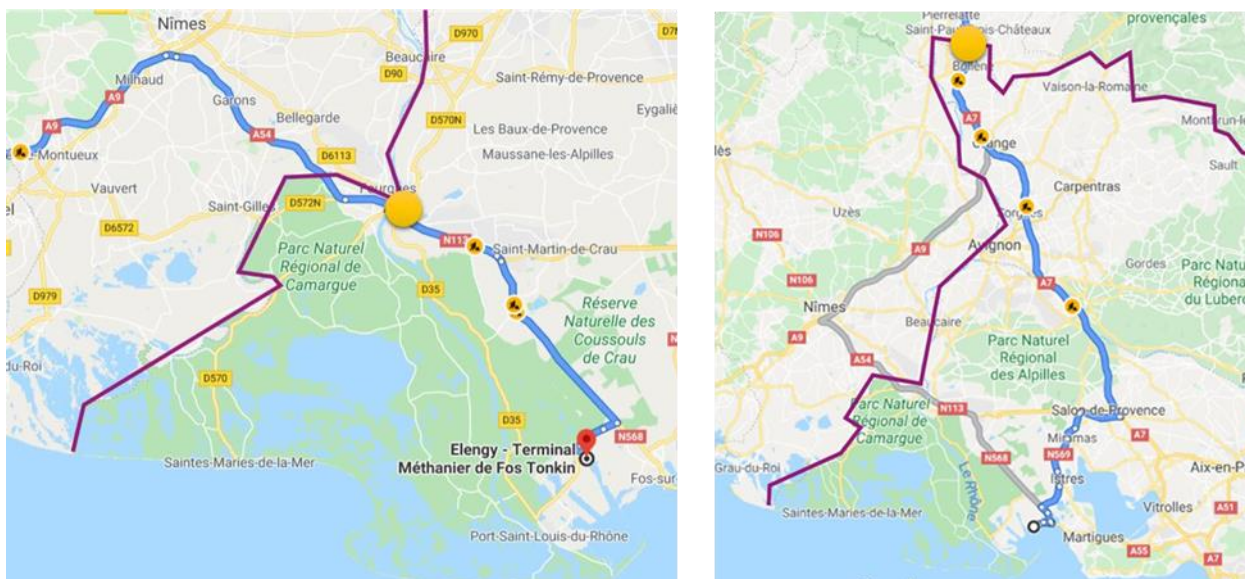


Figure 6 - Axe Ouest (sn) et axe Nord (dx)

Les flux interrégionaux s'élèvent à environ 20 000 (2019) et ont augmenté de 50% entre 2018 et 2019. Les principales destinations sont les régions Occitanie et Auvergne Rhône Alpes (Figure 7).

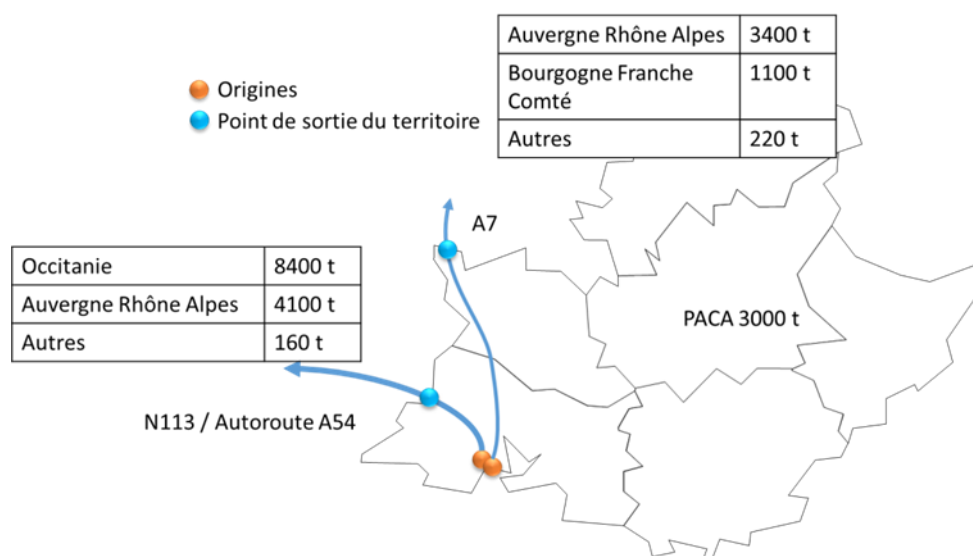


Figure 7 - Flux de la région PACA vers les autres régions françaises; source: See'Up, Elengy

Les flux internationaux ont représenté 99 000 tonnes en 2019 et ont augmenté de 110% entre 2018 et 2019. L'Italie est la principale destination.



Figure 8 - Flux de la région PACA vers les autres pays; sources: See'Up, Elengy

### 1.1.1 Matrice O/D GNL

Origine	Destination Pays	Destination Région	Mode de trspt	Distance moyenne (km)	Volume (tonnes)	Axe de trspt utilisé / point de sortie du territoire	Vitesse moyenne km/h (hors repos réglementaire)	Nbre de citernes annuelles	Fréquence moyenne mensuelle	Débit technique chargement / déchargement citerne (m3/h)	Débit réel chargement citerne au terminal (m3/h)	Débit réel déchargement citerne au point de livraison (m3/h)	Débit technique distribution GNL carburant (m3/h)	Débit réel distribution GNL carburant (m3/h)	Consommation PL standard (en L de gasoil) par trajet (A/R)	Consommation PL (en L de gasoil) annuel	Coût moyen du trspt (en €) par trajet (A/R)	Coût moyen du trspt (en k€) annuel	Emissions CO2 (en t) annuel	Part des livraisons en stations services	Economie de CO2 GNL carburant vs Diesel (en t/an)
Fos-sur-Mer	France	Auvergne Rhône Alpes	Route	340	4080	Ouest - A154	60	215	18	80	34	43	9	4,5	218	46784	1020	219	124	40%	636
Fos-sur-Mer	France	Auvergne Rhône Alpes	Route	340	3380	Nord - A7	60	178	15	80	34	43	9	4,5	218	38733	1020	182	103	40%	527
Fos-sur-Mer	France	Bourgogne F-Comté	Route	440	1165	Nord - A7	70	61	5	80	34	43	9	4,5	282	17178	1320	81	45	55%	244
Fos-sur-Mer	France	Bretagne	Route	1170	44	Ouest - A154	75	2	0,2	80	34	43	9	4,5	749	1498	3510	7	4	0%	0
Fos-sur-Mer	France	Centre Val de Loire	Route	720	56	Nord - A7	70	3	0,3	80	34	43	9	4,5	461	1382	2160	6	4	0%	0
Fos-sur-Mer	France	Hauts-de-France	Route	930	40	Nord - A7	70	2	0,2	80	34	43	9	4,5	595	1190	2790	6	3	100%	14
Fos-sur-Mer	France	Ile-de-France	Route	740	20	Nord - A7	70	1	0,1	80	34	43	9	4,5	474	474	2220	2	1	100%	7
Fos-sur-Mer	France	Nouvelle Aquitaine	Route	730	64	Ouest - A154	70	3	0,3	80	34	43	9	4,5	467	1402	2190	7	4	0%	0
Fos-sur-Mer	France	Occitanie	Route	230	8479	Ouest - A154	55	446	37	80	34	43	9	4,5	147	65651	690	308	174	4%	136
Fos-sur-Mer	France	Provence-Alpes-Côte d'Azur	Route	60	3052	Local	45	161	13	80	34	43	9	4,5	38	6182	180	29	16	50%	633
Fos-sur-Mer	Italie	Abruzzo	Route	1010	2200	Est - A8	65	116	10	80	34	43	9	4,5	646	74982	3030	351	198	65%	472
Fos-sur-Mer	Italie	Campania	Route	1120	3722	Est - A8	65	196	16	80	34	43	9	4,5	717	140493	3360	659	372	65%	775
Fos-sur-Mer	Italie	Emilia Romagna	Route	700	21264	Est - A8	65	1119	93	80	34	43	9	4,5	448	501312	2100	2350	1327	65%	4946
Fos-sur-Mer	Italie	Lazio	Route	920	6630	Est - A8	60	349	29	80	34	43	9	4,5	589	205491	2760	963	544	65%	1457
Fos-sur-Mer	Italie	Lombardia	Route	540	9068	Est - A8	60	477	40	80	34	43	9	4,5	346	164851	1620	773	436	65%	2193
Fos-sur-Mer	Italie	Marche	Route	920	7935	Est - A8	70	418	35	80	34	43	9	4,5	589	246118	2760	1154	651	65%	1744
Fos-sur-Mer	Italie	Piemonte	Route	400	12341	Est - A8	50	650	54	80	34	43	9	4,5	256	166400	1200	780	440	65%	3085
Fos-sur-Mer	Italie	Toscana	Route	660	4604	Est - A8	60	242	20	80	34	43	9	4,5	422	102221	1980	479	271	65%	1082
Fos-sur-Mer	Italie	Trentino Alto Adige	Route	750	4465	Est - A8	65	235	20	80	34	43	9	4,5	480	112800	2250	529	299	65%	1026
Fos-sur-Mer	Italie	Umbria	Route	800	4288	Est - A8	55	226	19	80	34	43	9	4,5	512	115712	2400	542	306	65%	972
Fos-sur-Mer	Italie	Veneto	Route	800	21089	Est - A8	65	1110	93	80	34	43	9	4,5	512	568320	2400	2664	1504	65%	4783
Fos-sur-Mer	Slovénie	Slovénie	Route	1000	750	Est - A8	65	39	3	80	34	43	9	4,5	640	24960	3000	117	66	65%	162
Fos-sur-Mer	Suisse	Tessin	Route	670	360	Est - A8	60	19	1,6	80	34	43	9	4,5	429	8147	2010	38	22	65%	84
Fos-sur-Mer	Macédoine	Macédoine	Route	1980	200	Est - A8	65	11	0,9	80	34	43	9	4,5	1267	13939	5940	65	37	65%	31



Données	Hypothèses / commentaires	Sources
Origine	Fos Tonkin et Fos Cavaou n'ont pas été différenciés, les deux terminaux étant proches géographiquement, et afin de ne pas complexifier la base de données	Elengy <sup>1</sup>
Destination - Pays	Données réelles (déclaration transporteurs)	Elengy
Destination - Région <sup>2</sup>	Données réelles (déclaration transporteurs)	Elengy
Mode de trspt	Seule la route est utilisée sur le territoire PACA à ce jour pour le transport de GNL	Elengy
Distance moyenne (km) (aller simple)	Distance la plus pertinente entre distance avec la capitale de région et distance moyenne avec les points de destinations précis identifiés	Elengy, analyse See'Up
Volume (tonnes)	Volumes réels (données terminal GNL)	Elengy
Axe de trspt utilisé / point de sortie du territoire	Axe principal utilisé pour le transport de marchandise entre Fos et le point de sortie de territoire identifié	See'Up
Vitesse moyenne (hors repos réglementaire) (km/h)	Vitesse moyenne pour un véhicule léger particulier (source : google maps), auquel un facteur de 1,5 a été appliqué afin d'obtenir la vitesse moyenne pour un poids lourd	See'Up
Nombre de citernes annuelles	Calculé sur la base d'un chargement moyen de 21 t par citerne	Elengy, analyse See'Up
Fréquence mensuelle	Nombre annuel de citernes entre le terminal GNL et la région de destination	Analyse See'Up
Débit technique chargement / déchargement citerne (m3/h)	Débit permis par les installations	Elengy
Débit réel chargement citerne au terminal (m3/h)	Débit réel constaté aux terminaux (inclus les temps d'attente et d'entrée/sortie de site)	Elengy
Débit réel déchargement citerne au point de livraison (m3/h)	Débit réel estimé au point de livraison (inclus les temps d'attente et d'entrée/sortie de site)	Estimation See'Up (absence de contrainte du site industrialo-portuaire, donc plus rapide qu'au terminal GNL)
Débit technique distribution GNL carburant (m3/h)	Débit permis par les installations	Entretien See'Up
Débit réel distribution GNL carburant (m3/h)	Débit réel estimé au point de distribution	Estimation / entretien See'Up sur la base du temps moyen passé à la pompe
Consommation PL standard (en L de gasoil) par trajet (A/R)	Consommation moyenne d'une citerne 32 l/100km (chargée + à vide)	Comité National Routier, enquête TRM 2018
Consommation PL (en L de gasoil) annuel	Consommation par trajet A/R x nbre de citernes annuelles	See'Up
Coût moyen du trspt (en €) par trajet A/R	Coût moyen du transport de marchandise en citerne (point de vue du transporteur routier) : 1,5 €/km <sup>3</sup> .	Comité National Routier (calculateur de coût)

	Il s'agit d'un coût moyen : pour les longues distances, ce coût est plus élevé (horaires de nuit, coût d'un 2 <sup>e</sup> chauffeur ou coût d'une nuit d'hôtel) ; pour les courtes distances, ce coût est plus faible. A noter : du point de vue du client, ce coût se rapproche plutôt de 3€/km car le transporteur vend au client un aller simple mais supporte le coût d'un aller-retour.	
Coût moyen du trspt (en k€) annuel	Coût moyen du transport par trajet A/R x nbre de citernes annuelles	See'Up
Emissions CO2 (en kg) annuelles	Emission par un tracteur + semi-remorque citerne : 2,647 kg par litre de gasoil consommé	Futura-sciences.com (sur la base de la réaction chimique de combustion du diesel)
Part des stations-services	Part des stations-services dans le volumes total de livraison de GNL dans la région concernée au regard de tous les types de clients (industriels, agriculteurs en particulier)	Elengy, analyse See'Up
Economie de CO2 GNL carburant vs Diesel (en t)	Réduction de CO2 générée par l'utilisation du GNL carburant distribué par les stations approvisionnées depuis les terminaux de Fos ; comparativement à une situation théorique où les PL GNL sont remplacés par des PL diesel <sup>4</sup> . Hypothèse de calcul : sur la base de la consommation moyenne des PL diesel et des PL GNL, 1 t de GNL est équivalent à 0,9 t de diesel. Hypothèse d'émission de CO2 par le GNL : -15% « du puits à la roue »	Gaz-mobilite.fr Analyses See'Up

### 1.1.2 Capacité actuelle du réseau de distribution en région PACA: réseau "primaire" (terminal méthanier)

Le réseau de distribution a un niveau élevé de capacité disponible par rapport aux niveaux d'utilisation actuels.

	Fos Tonkin	Fos Cavaou	Total pour les 2 terminaux
<b>Capacité</b>	36 slots par jour sur 2 baies de chargement, soit 190 000 t/an.	40 slots par jour sur 2 baies de chargement, soit 210 000 t/an.	<b>400 000 tonnes</b>
<b>Tonnage (2019)</b>	111 000 tonnes	8 000 tonnes	<b>119 000 t</b>
<b>Tax d'utilisation (2019)</b>	60%	4%	<b>30%</b>

Tableau 1- Sites de stockage de la répartition des capacités (2019, 250 jours opérationnels/an)

Par ailleurs, le terminal de Cavaou présente une capacité d'extension à 5 baies de chargement (contre 2 à ce jour), soit 525 000 t/an de capacité de chargement potentielle sur le terminal, ce qui augmenterait la capacité annuelle de distribution sur le territoire (2 terminaux) à 715 000 tonnes.

### 1.1.3 Capacité actuelle du réseau de distribution en région PACA: réseau "secondaire" (stations-service)

A ce jour, 3 stations-service GNL sont en service sur le territoire avec une capacité de réservoir de 21t permettant d'alimenter 50 camions par jour (400 kg par plein de carburant), soit 12 500 camions par an (5000 t/an)

Les taux d'utilisation actuels des stations dans la région PACA sont d'environ 10%, avec des taux d'utilisation pouvant atteindre 50% en période de pointe.

Les figures suivantes montrent les points de distribution (stations-service) et les réseaux de transport utilisés pour le ravitaillement.



Figure 9- Station V-Gaz du Mat de Ricca (Port-Saint-Louis)



Figure 10- Station V-Gas à Saint-Martin de Crau

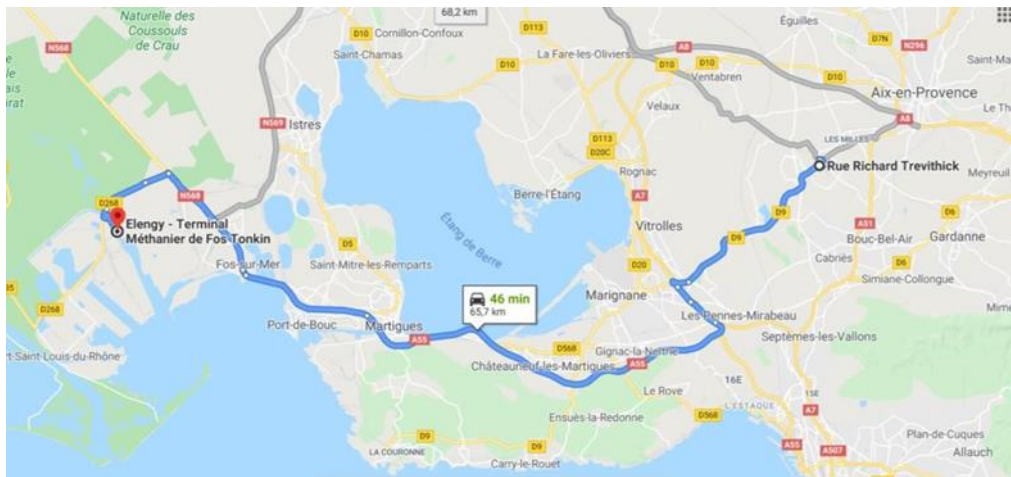


Figure 11- Station Engie à Aix-en-Provence

## 1.2 Analyse du marché du transport de marchandises et de passagers dans la région PACA

Pour reconstituer le phénomène de la demande de transport de passagers et de marchandises dans la région, une matrice origine/destination des déplacements a été estimée sur la base de:

- données statistiques disponibles: nombre de voyages individuels / tonnes de marchandises chargées + déchargées
- Lois de distribution et de répartition des flux basées sur le poids de la population, des emplois et de la distance mutuelle.
- enquêtes et études de trafic

Les sources de données utilisées sont:

- **Pour les données de population et d'emploi:** données du recensement INSEE 2017, population légale au 1er janvier 2020.
- **Pour les données sur les flux de voyageurs routiers:** données issues des enquêtes de déplacements (Enquête régionale de déplacements du territoire de Marseille / Bouches-du-Rhône 2009, Enquête de déplacements du territoire de Nice 2009, Enquête de mobilité certifiée Cerema Gap 2018, Enquête de déplacements des ménages de Toulon 2008, Enquête de déplacements des villes moyennes comme Arles 2008, Draguignan 2006 et Var 2012). Ces enquêtes, réalisées selon une méthodologie standardisée à l'aide de questionnaires en face à face ou par



téléphone, portent sur les déplacements de larges échantillons de la population représentatifs des zones concernées. Ils fournissent des informations sur le nombre de déplacements quotidiens (les jours de semaine), la répartition modale et la durée des déplacements individuels. Pour les besoins de l'étude, les territoires non couverts par ces enquêtes, principalement les départements des Alpes-de-Haute-Provence et des Hautes-Alpes (à l'exclusion de l'agglomération de Gap), ainsi que l'agglomération d'Avignon (enquête voyages trop ancienne, datant de 1980) se sont vus attribuer des données issues de territoires aux caractéristiques similaires.

- Pour les données sur les **flux de marchandises**:
  - des données sur le transport routier de marchandises provenant du Service de l'information et des études statistiques du ministère / SitraM (enquêtes TRM, SNCF, VNF, services douaniers); celles-ci ont ensuite été croisées avec les données d'Eurostat (indiquant les quantités de transport routier de marchandises par région NUTS3 - en France on parle de départements)
  - des données provenant des différents organismes chargés de la gestion des infrastructures: SNCF, Vinci Autoroutes, Grand Port Maritime de Marseille, CCI, Voies Navigables de France.
  - les données issues des études sur les transports, notamment:
    - Études sur le transport de marchandises en région PACA en 2014 réalisées par le Cluster Logistique PACA;
    - Le transport de marchandises dans la vallée du Rhône, CETE Méditerranée, juillet 2002;
    - Le transport de marchandises à travers les Alpes, Agence Alpine des Territoires - Département de la Savoie, octobre 2018;
    - DREAL Provence-Alpes-Côte d'Azur, Observatoire des trafics à travers les Alpes 2008;
    - Réserves de capacité des infrastructures de transport en PACA, CETE Méditerranée, 2011.

Le zonage de référence est celui des districts, qui garantit la couverture de l'ensemble du territoire de la région sud, avec un niveau de précision adéquat. La population installée dans les 18 districts compte environ 5,1 millions d'habitants, une valeur comparable aux 7 millions d'habitants des 19 provinces dans lesquelles est divisé le territoire des trois régions italiennes (Sardaigne, Toscane et Ligurie) étudiées.

Les tableaux suivants montrent les valeurs du transport privé et des mouvements de marchandises.

### 1.3 Matrices et analyses O/D

	AIX-EN-PROVENCE	APT	ARLES	AVIGNON	BARCELONNETTE	BRIANCON	BRIGNOLES	CARPENTRAS	CASTELLANE	DIGNE-LES-BAINS	DRAGUIGNAN	FORCALQUIER	GAP	GRASSE	ISTRES	MARSEILLE	NICE	TOULON
AIX-EN-PROVENCE	4 308 294	79 624	79 836	117 619	1 461	4 959	58 563	47 262	2 398	14 616	89 616	37 404	20 311	108 655	214 621	977 937	81 521	219 835
APT	122 781	1 478 844	31 858	72 150	746	2 485	21 509	42 483	1 176	8 425	36 780	29 189	12 103	47 035	64 848	175 675	36 662	65 248
ARLES	160 410	39 986	2 686 611	142 545	958	3 591	27 123	42 563	1 375	8 631	47 627	18 915	14 481	66 042	297 185	350 779	52 842	108 958
AVIGNON	78 142	33 373	50 421	3 121 809	592	2 212	15 058	67 198	830	5 664	26 621	13 373	10 026	36 859	79 308	142 931	29 910	51 766
BARCELONNETTE	3 526	1 253	1 230	2 148	92 825	670	1 452	1 099	178	1 365	3 767	1 201	2 289	7 451	2 075	7 414	6 470	4 233
BRIANCON	16 670	5 960	6 491	11 466	957	406 022	6 188	5 771	573	4 086	14 706	4 983	12 819	27 593	10 588	35 468	25 402	19 441
BRIGNOLES	87 667	19 358	20 296	29 304	780	2 329	1 791 074	13 642	1 868	8 329	108 882	15 397	9 400	85 304	38 087	211 260	58 899	211 875
CARPENTRAS	29 894	46 761	27 318	352 441	92 702	40 127	36 762	1 488 875	367	2 646	11 249	6 694	4 762	15 602	23 792	52 391	12 598	20 280
CASTELLANE	3 933	1 252	1 166	1 911	113	255	2 209	959	113 195	1 429	8 141	1 330	1 046	11 667	2 069	8 336	7 103	5 396
DIGNE-LES-BAINS	29 683	11 190	9 090	16 260	1 080	2 263	12 287	8 629	1 781	656 276	31 267	14 299	11 886	46 734	15 955	58 118	34 986	32 572
DRAGUIGNAN	161 178	43 473	44 514	68 025	2 652	7 249	142 966	32 652	9 035	27 830	3 916 573	39 836	28 134	427 816	79 599	362 797	244 666	295 206
FORCALQUIER	64 945	33 460	17 099	33 134	820	2 382	19 604	18 842	1 431	12 340	38 627	1 042 165	12 670	48 363	32 395	111 510	36 361	52 889
GAP	45 481	18 278	17 036	32 728	2 059	8 073	15 767	17 659	1 483	13 515	35 940	16 693	1 288 247	60 109	28 459	92 296	50 828	47 528
GRASSE	68 796	20 197	22 019	34 209	1 905	4 940	40 682	16 449	4 703	15 108	155 386	18 116	17 090	4 896 735	38 098	158 192	405 442	114 175
ISTRES	294 328	61 970	217 046	163 812	1 181	4 219	40 424	55 823	1 856	11 479	64 342	27 006	18 008	84 788	3 514 369	567 419	67 508	151 383
MARSEILLE	673 730	81 639	126 967	143 564	2 052	6 873	109 037	59 777	3 637	20 333	142 607	45 204	28 399	171 201	275 926	8 823 558	131 509	479 677
NICE	59 070	17 619	19 974	31 069	1 851	5 090	31 438	14 865	3 205	12 658	99 458	15 244	16 174	453 773	33 950	136 001	4 507 999	93 923
TOULON	200 760	39 497	51 896	67 737	1 526	4 908	142 461	30 144	3 067	14 846	151 169	27 931	19 052	160 973	95 902	624 900	118 316	5 837 397

Tableau 2 - Trafic routier de marchandises exprimé en véhicules-kilomètres par jour

	AIX-EN-PROVENCE	APT	ARLES	AVIGNON	BARCELONNETTE	BRIANCON	BRIGNOLES	CARPENTRAS	CASTELLANE	DIGNE-LES-BAINS	DRAGUIGNAN	FORCALQUIER	GAP	GRASSE	ISTRES	MARSEILLE	NICE	TOULON
AIX-EN-PROVENCE	27 537	4 070	9 271	9 968	269	1 207	4 490	4 069	306	1 789	10 247	2 868	3 497	18 270	8 972	21 324	16 449	18 334
APT	3 395	5 988	1 599	8 316	62	273	1 205	2 546	76	441	2 515	701	837	4 346	2 406	8 180	4 001	4 463
ARLES	7 991	2 512	12 141	5 971	161	716	2 865	2 519	189	1 100	6 289	1 757	2 123	11 065	2 178	20 260	10 057	11 212
AVIGNON	10 592	14 341	4 990	14 665	195	852	3 758	7 168	238	1 377	7 847	2 187	2 610	13 561	7 508	25 525	12 485	13 922
BARCELONNETTE	407	122	192	277	634	33	145	122	106	467	302	1 352	100	522	289	982	480	536
BRIANCON	1 187	354	559	807	22	1 680	421	356	27	154	879	245	4 331	1 520	841	2 860	1 399	1 560
BRIGNOLES	1 832	546	863	1 246	34	148	6 971	550	41	238	3 777	378	451	2 345	1 298	4 414	2 159	6 161
CARPENTRAS	2 422	2 546	2 248	4 156	15 492	7 976	5 120	5 986	54	315	1 794	500	597	3 101	1 717	5 837	2 855	3 184
CASTELLANE	292	87	137	198	107	23	103	88	722	396	216	1 084	72	373	207	703	344	383
DIGNE-LES-BAINS	2 127	634	1 002	1 447	674	171	755	639	567	4 216	1 576	6 086	524	2 723	1 508	5 126	2 507	2 796
DRAGUIGNAN	4 367	1 303	2 058	2 971	80	351	4 729	1 311	98	568	15 908	902	1 076	5 591	3 096	10 524	5 148	34 644
FORCALQUIER	2 871	856	1 353	1 953	2 837	231	1 019	862	2 257	8 862	2 127	6 757	708	3 676	2 035	6 919	3 384	3 774
GAP	2 626	783	1 237	1 787	48	12 543	932	789	59	341	1 946	542	4 866	3 363	1 862	6 329	3 096	3 452
GRASSE	7 626	2 275	3 593	5 187	140	613	2 706	2 290	171	991	5 650	1 574	1 879	25 920	5 405	18 377	28 800	10 024
ISTRES	8 287	3 545	2 334	8 084	219	956	4 217	3 569	266	1 545	8 804	2 454	2 929	15 216	19 583	24 241	14 008	15 621
MARSEILLE	34 604	10 198	38 141	23 258	629	2 750	12 131	10 267	767	4 445	25 329	7 059	8 425	43 774	42 591	64 444	40 299	44 940
NICE	8 730	2 604	4 113	5 939	161	702	3 097	2 622	196	1 135	6 468	1 802	2 151	25 930	6 188	21 038	23 337	11 475
TOULON	7 673	2 289	3 615	5 219	141	617	11 950	2 304	172	998	53 657	1 584	1 891	9 824	5 439	18 490	9 044	28 465

Tableau 3 - Déplacements individuels (veh\*km/jour)

Hypothèses prises en compte:

- 300 jours de circulation des poids-lourds par an
- Charge moyenne par PL en circulation: 9,8 t (données SDES, 2017, Trafic Routier de Marchandises sous pavillon français)
- Distance moyenne parcourue à l'intérieur d'un arrondissement: 15 km
- Pour chaque arrondissement, la moitié du trafic intradépartemental est interne à l'arrondissement et l'autre moitié se répartit entre le (ou les) autre(s) arrondissement(s) du département

	AIX-EN-PROV	APT	ARLES	AVIGNON	BARCELONNE	BRIANCON	BRIGNOLES	CARPENTRAS	CASTELLANE	DIGNE-LES-B	DRAGUIGNA	FORCALQUIE	GAP	GRASSE	ISTRES	MARSEILLE	NICE	TOULON
AIX-EN-PROVENCE	1 836	161	232	237	3	10	118	95	5	29	181	75	41	219	374	1 230	164	444
APT	134	399	35	283	1	3	23	116	1	9	40	32	13	51	71	192	40	71
ARLES	200	55	809	195	1	5	37	58	2	12	65	26	20	90	142	468	72	149
AVIGNON	252	489	163	978	2	7	49	489	3	18	86	43	32	119	256	461	97	167
BARCELONNETTE	4	2	2	3	42	1	2	1	3	15	5	24	3	9	3	9	8	5
BRIANCON	10	4	4	7	1	112	4	3	0	2	9	3	112	16	6	21	15	11
BRIGNOLES	48	11	11	16	0	1	465	8	1	5	167	8	5	47	21	116	32	298
CARPENTRAS	57	116	52	283	176	76	70	399	1	5	21	13	9	30	45	99	24	39
CASTELLANE	5	1	1	2	3	0	3	1	48	17	10	28	1	14	2	10	8	6
DIGNE-LES-BAINS	35	13	11	19	22	3	15	10	25	281	37	234	14	55	19	69	41	38
DRAGUIGNAN	77	21	21	33	1	3	209	16	4	13	1 061	19	13	205	38	173	117	852
FORCALQUIER	76	39	20	39	51	3	23	22	58	341	45	450	15	56	38	130	42	62
GAP	31	12	12	22	1	324	11	12	1	9	24	11	324	41	19	62	34	32
GRASSE	92	27	29	46	3	7	54	22	6	20	207	24	23	1 728	51	210	1 728	152
ISTRES	345	104	152	276	2	7	68	94	3	19	108	45	30	143	1 306	808	114	255
MARSEILLE	1 996	239	880	420	6	20	319	175	11	60	418	132	83	501	1 420	4 296	385	1 404
NICE	87	26	30	46	3	8	46	22	5	19	147	23	24	1 556	50	201	1 556	139
TOULON	186	37	48	63	1	5	578	28	3	14	1 319	26	18	149	89	578	109	1 898

Tableau 4- Trafic routier de marchandises exprimé en véhicules par jour

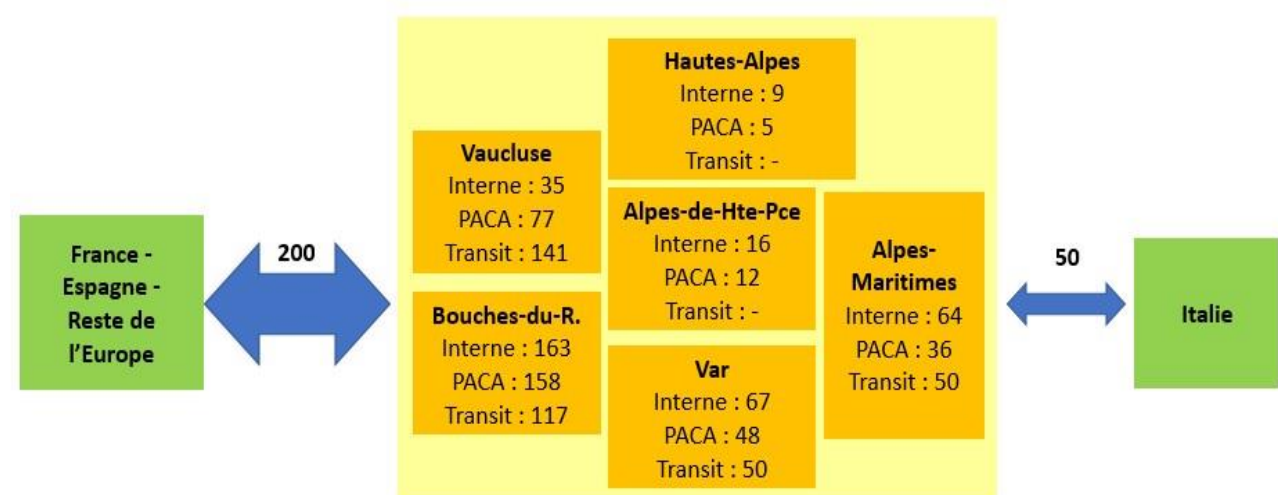


Figure 12- Estimation des échanges routiers en milliers de tonnes par jour internes aux départements, internes à la région et en échange



	AIX-EN-PCE	ARLES	AVIGNON	BRIANCON	BRIGNOLES	DIGNE	DRAGUIGNAN	GAP	GRASSE	ISTRES	MARSEILLE	NICE	TOULON
AIX-EN-PROVENCE		60 km	63 km	181 km	57 km	91 km	85 km	128 km	125 km	36 km	26 km	150 km	62 km
ARLES	1h04		46 km	219 km	116 km	140 km	145 km	161 km	184 km	23 km	65 km	209 km	113 km
AVIGNON	1h07	0h46		179 km	116 km	113 km	137 km	121 km	171 km	44 km	83 km	194 km	125 km
BRIANCON	2h49	3h34	3h31		173 km	96 km	152 km	58 km	140 km	202 km	205 km	140 km	204 km
BRIGNOLES	0h45	1h25	1h28	3h08		78 km	34 km	131 km	75 km	93 km	57 km	100 km	31 km
DIGNE-LES-BAINS	1h20	2h04	2h01	2h22	1h43		64 km	56 km	74 km	120 km	112 km	91 km	109 km
DRAGUIGNAN	1h20	1h57	2h00	3h34	0h46	1h49		120 km	41 km	122 km	91 km	66 km	61 km
GAP	1h38	2h23	2h20	1h19	2h02	1h12	2h27		124 km	145 km	152 km	135 km	161 km
GRASSE	1h49	2h26	2h28	4h07	1h16	1h59	1h03	2h56		160 km	131 km	25 km	99 km
ISTRES	0h55	0h40	1h00	3h20	1h21	1h57	1h51	2h12	2h13		45 km	185 km	92 km
MARSEILLE	0h37	1h08	1h11	3h05	1h00	1h40	1h35	1h56	1h57	0h51		157 km	48 km
NICE	1h57	2h33	2h35	4h17	1h23	2h22	1h06	3h06	0h39	2h26	2h09		124 km
TOULON	1h02	1h41	1h43	3h28	0h45	2h04	1h04	2h19	1h27	1h27	0h49	1h36	

Vitesses moyennes  
 70-90 km/h  
 60-70 km/h  
 40-60 km/h  
 < 40 km/h

Tableau 5 - Distances en km et temps en voiture entre les principaux chefs-lieux d'arrondissement

Hypothèses et remarques:

- Les distances sont calculées « à vol d'oiseau »
- Les temps de parcours sont calculés par Google Maps en période de trafic fluide, de centre-ville à centre-ville



	Arrdt d'Arles	Arrdt d'Avignon	Arrdt d'Istres
Arrdt d'Arles	18	11	123
Arrdt d'Avignon		7	58
Arrdt d'Istres			0

Tableau 6- Trafic fluviaux en tonnes (chargement + déchargement)

Hypothèses prises en compte:

- Le trafic fluvial interne à la région PACA est de 217 000 tonnes en 2017 selon le SDES
- Le trafic fluvial se répartit en fonction du poids du trafic des ports de l'arrondissement
- Pour les besoins de l'analyse, il a été considéré que l'ensemble du trafic fluvial du GPMM était concentré sur l'arrondissement d'Istres (bien que Port-Saint-Louis-du-Rhône est dans l'arrondissement d'Arles)

## 1.4 Quantification des besoins en GNL

### 1.4.1 Carburant routier GNL

L'utilisation du GNL comme carburant pour le transport routier est prédominante en termes de volume dans la région; la deuxième utilisation la plus importante est l'approvisionnement du secteur industriel. En 2019, il s'agissait des seules utilisations de GNL à petite échelle dans la région (si l'on ne tient pas compte du procès). Les deux secteurs ont été lancés en 2013 en France et en 2014 dans la région PACA.

La demande de GNL ne cesse d'augmenter et suit le rythme des ventes de camions GNC: +1 460 immatriculations en 2019 sur le segment des 7,5 - 44 tonnes en France, soit une hausse de 37% en un an. Dans ce segment de marché, les camions à gaz représentent 99% des ventes de produits non diesel. Les solutions hydrogène ou électrique ne sont pas encore prêtes, ni assez économiques, et il faudra plusieurs années avant qu'elles ne soient pleinement développées, ce qui fait du gaz naturel comprimé la seule alternative au diesel pour le moment. Les stations de GNL se développent également, avec environ 3 stations publiques qui devraient être installées par an dans la région. Avec un approvisionnement

moyen de 70 réservoirs par an et par station, la croissance attendue est d'environ 4,2 ktpa. La croissance européenne est de 68% pour les stations GNL. Jusqu'en 2021, date à laquelle l'Italie devrait voir arriver les premiers sites de chargement des pétroliers, la région recevra sur ses routes, en provenance de Fos, l'intégralité du flux alimentant le sud de la France et près de 100% des besoins italiens, qui représentaient en 2019 respectivement 25 et 100 ktpa.

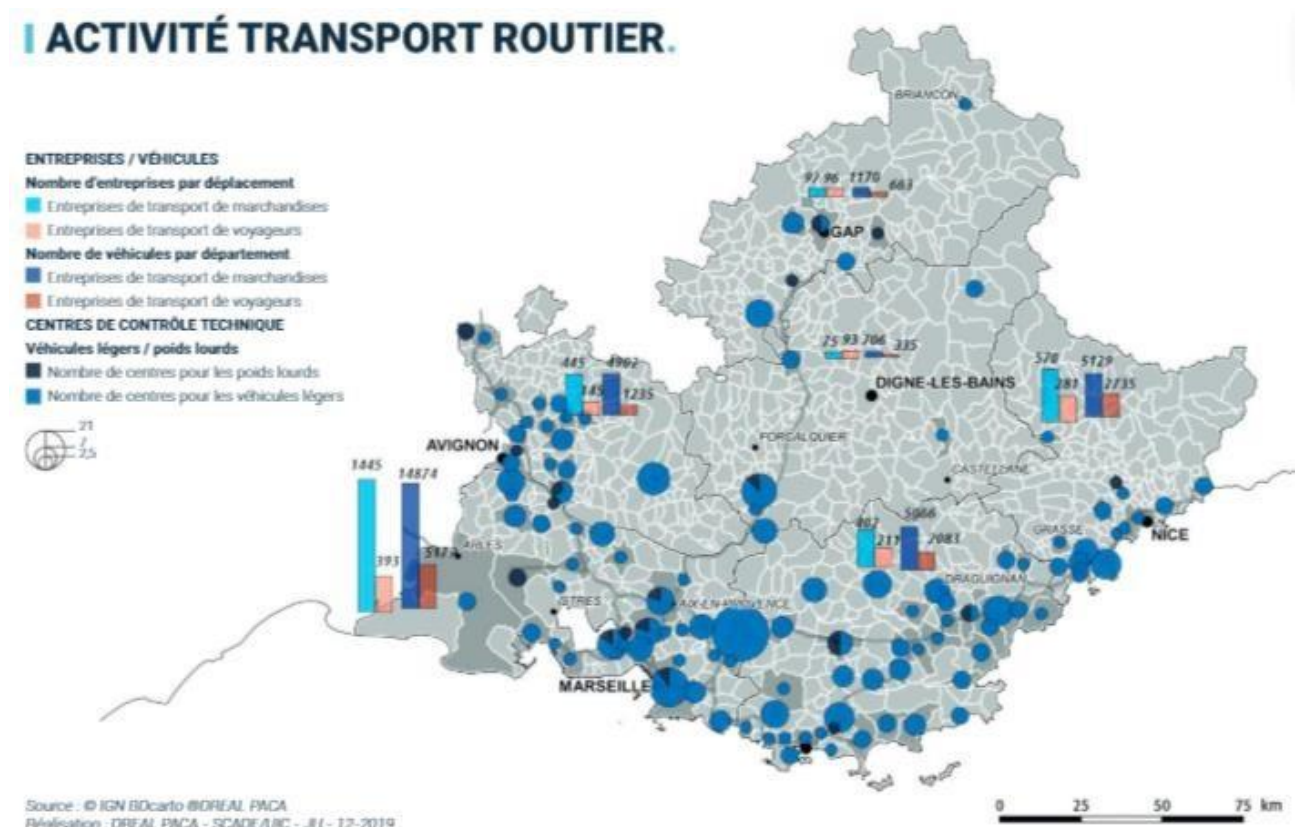


Figure 13 - Activité de transport routier dans la région PACA (ORT - ADEME 2018).

Même parmi les principaux transporteurs de la région, on observe une tendance récente à bénéficier de stations privées au sein de leur plateforme logistique, ce qui pourrait constituer le scénario haut en plus du développement de stations uniquement publiques (scénario bas). Sur la carte précédente (Figure 13) du rapport d'activité 2018 de l'office régional des transports PACA, on constate une très forte activité de transport routier le long des grands axes de la région, avec 3 034 entreprises de fret, dont 1 445 dans les seules Bouches du Rhône, et 31 847 véhicules (dont environ 15 000 camions articulés de 44t pouvant être équipés de moteurs GNL).

On peut imaginer l'hypothèse pondérée d'équiper 100 méthaniers par an, qui seront alimentés par des stations privées, à raison d'un plein de 345 kg de GNL tous les deux jours (soit une moyenne de 10 transporteurs par an disposant de leur propre station et complétant leur équipement par un réservoir de GNL). Une consommation supplémentaire d'environ 6 300 tonnes par an serait obtenue à partir de stations privées situées dans les principaux pôles logistiques de proximité à l'ouest et au sud de la région. (voir graphique 12), soit 63 000 tonnes par 1 000 camions sur 10 ans (moins de 10% du nombre total de camions de la région).

Depuis 2018, il existe également des stations mobiles de GNL qui pourraient être installées partout dans la région pendant la semaine, puis rechargées à Fos le samedi soir. Pas encore totalement achevées (une seule à Lyon pour toute la France), elles pourraient convenir aux opérateurs logistiques désireux de maîtriser leur approvisionnement ou de minimiser les risques d'une conversion au GNL (car la station mobile, contrairement à une station fixe, peut être revendue) (Figure 15).



Figure 14- Carte schématique des plateformes logistiques en région PACA



Figure 15 - Station GNL mobile construite par HAM

### 1.4.2 Utilisations du gaz naturel

Le choix d'utiliser des moteurs à gaz naturel dépend de la distance annuelle moyenne parcourue. Les moteurs GNC (gaz naturel comprimé), en raison de leur autonomie relativement faible, sont plus adaptés aux véhicules qui parcourent de courtes distances. Le coût d'achat et d'entretien d'un véhicule fonctionnant au GNC est inférieur au coût d'achat d'un véhicule fonctionnant au GN.

Les moteurs au GNL sont plus adaptés aux véhicules de longue distance en raison de la plus grande autonomie permise par ce carburant et de la grande capacité de leurs réservoirs. Le coût d'achat des tracteurs routiers fonctionnant au GNL est plus élevé, mais

les économies de carburant, combinées à une plus grande utilisation de ceux-ci, permettent d'amortir cette dépense supplémentaire.

En ce qui concerne les voitures, le GNC est préférable au GNL. En effet, le GNL ne convient pas à l'utilisation discontinue de véhicules pour le transport de personnes (non utilisés pendant plusieurs jours consécutifs). En outre, les opérations de chargement du combustible doivent être effectuées par du personnel spécialisé.

À ce jour, seuls les véhicules lourds de la catégorie des tracteurs routiers + semi-remorques disposent de moteurs GNL et cette spécialisation semble devoir se poursuivre au fil du temps. Par conséquent, les projections de la consommation de GNL sont basées exclusivement sur l'évolution de la flotte de tracteurs routiers.






Illustration	Type de camion	Distances moyennes parcourues par an
	Van	Faible
	Camion	Faible (~75 000 km/an <sup>4</sup> )
	Remorque de camion	Variables
	Tracteur-remorque	Élevé (~95 000 pour le transport régional à ~115 000 km/an <sup>5</sup> pour le transport national et international)
	Autobus et autocars	Faible (~35 000 km/an <sup>2</sup> )

Tableau 7- Classification simplifiée des poids lourds

<sup>4</sup> Source: CNR (Comité National Routier)

<sup>5</sup> Source: Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer

### 1.4.3 Analyse de la consommation de carburant des tracteurs routiers en région PACA

A ce jour, la part de marché du GNL carburant est très faible en France et dans la région PACA en particulier. Elle ne représente que 0,4% des distances parcourues par les tracteurs routiers de 44 tonnes circulant dans la région (Figure 16).

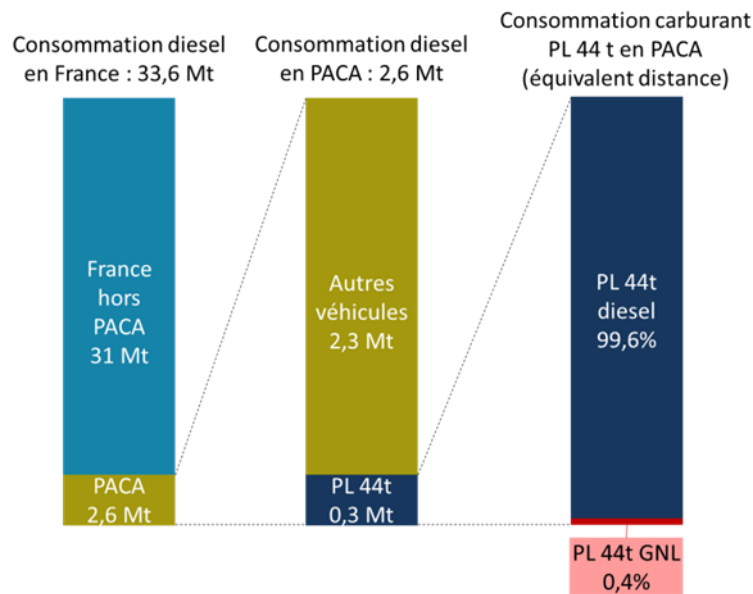


Figure 16 - Part du GNL dans la consommation de carburant des tracteurs routiers en région PACA (Source: See'Up)

L'estimation était basée sur les éléments suivants:

- Calcul de la consommation de diesel dans la région PACA:
  - La consommation de Diesel en France s'élève à 33,6 millions de tonnes (source: Insee 2018) et la consommation de Diesel en région PACA est estimée à 2,6 millions de tonnes (source: See'Up, sur la base du pourcentage de la population régionale (Insee: 7%) et du trafic journalier moyen annuel régional (data.gouv.fr: 8%));
- Calcul de la part des tracteurs routiers de 44 t de la région PACA dans le trafic moyen journalier annuel:
  - La part des poids lourds en région PACA par rapport au trafic journalier moyen annuel régional est de 8,9% (source: data.gouv.fr 2017).
  - La part des tracteurs routiers parmi les poids lourds au niveau national est de 32% (source: data.gouv.fr 2018).
  - La part des tracteurs routiers de 44 t dans le trafic journalier moyen annuel de la région PACA est donc de 2,85%.



- Calcul de la part des tracteurs routiers de 44 t en termes de consommation de gazole dans la région PACA:
  - La consommation moyenne d'un tracteur routier de 44 t est de 32 l/100 km (source: statistiques.developpement-durable.fr, analyse See'Up)
  - La consommation moyenne des autres véhicules diesel (voitures particulières et véhicules utilitaires) est de 7 l/100 km (source: statistiques.developpement-durable.fr, analyse See'Up) On peut donc dire que 2,85% des km parcourus en PACA sont effectués par des véhicules diesel consommant 32 l/100km et 87,15% par des véhicules diesel consommant 7 l/100km. Ceci nous permet de déduire que la part des tracteurs routiers de 44 t, dans la consommation de diesel, est de 12%, soit 0,3 Mt.
- Calcul du taux d'introduction du GNL carburant dans la consommation de carburant des camions de 44 t en région PACA:
  - 0,3 Mt de diesel permettent de parcourir 1137 millions de km
  - La consommation de GNL en région PACA de 1500 tonnes en 2019 permet de parcourir 5 millions de km. Parmi l'ensemble des tracteurs routiers de 44 t de la région PACA, la part de km atteinte par ceux utilisés pour le GNL est donc de 0,4%.

#### 1.4.4 Carburant GNL maritime

Après le GNL comme carburant routier, en raison de ses nombreux avantages, le GNL comme carburant marin convainc de plus en plus d'armateurs pour répondre aux exigences de la nouvelle réglementation internationale de l'OMI concernant les émissions des navires (Figure 17<sup>6</sup>Figure 17).

---

<sup>6</sup> Lien vers le rapport : [https://sea-lng.org/wp-content/uploads/2019/10/SEALNG\\_Alternative\\_fuels\\_narrative\\_V22.pdf](https://sea-lng.org/wp-content/uploads/2019/10/SEALNG_Alternative_fuels_narrative_V22.pdf)

ENERGY SOURCE FUEL	HFO + SCRUBBER	LOW SULPHUR FUELS	FOSSIL (WITHOUT CO <sub>2</sub> ) LNG	METHANOL	LPG	BIO HVO (Advanced biodiesel)	AMMONIA	RENEWABLE (1) HYDROGEN	FULLY ELECTRIC
<b>Highest priority parameters</b>									
Energy density	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Technological maturity	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Local emissions	●	●	●	●	●	●	●	●	●
GHG emissions	●	●	● <sup>(2)</sup>	●	●	●	●	●	●
Energy cost	●	●	●	●	●	●	●	●	● <sup>(4)</sup>
Capital cost	Converter	●	●	●	●	●	●	●	●
	Storage	●	●	●	●	●	●	●	●
Bunkering availability	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Commercial readiness <sup>(1)</sup>	●	●	●	●	●	●	●	●	● <sup>(5)</sup>
<b>Other parameters</b>									
Flammability	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Toxicity	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Regulations and guidelines	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Global production capacity and locations	●	●	●	●	●	●	●	●	●

Figure 17 - Tableau des paramètres d'énergie et de solution pour le carburant marin

La croissance est très forte en Europe, notamment grâce à l'établissement de zones OCE en Europe du Nord en 2011.

À cet égard, les États méditerranéens ont convenu à l'unanimité, fin 2019, de créer une zone d'ACC en Méditerranée d'ici 2024. Une étude coréenne annonce que 60% des futurs navires construits dans les chantiers navals après 2025 (y compris les nouvelles commandes) seront des navires au GNL. Selon le rapport 2019 DNVGL Maritime Forecast to 2050, 40 à 80% de la flotte mondiale pourrait être alimentée au GNL d'ici 2050 (Figure 18):



**Energy use and projected fuel mix 2018-2050 for the simulated IMO ambitions pathway with main focus on design requirements**

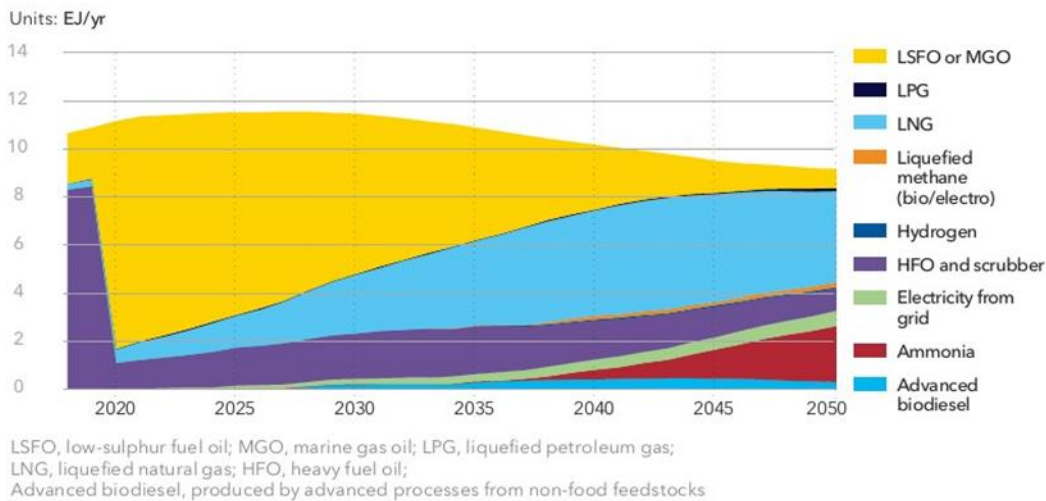


Figure 18 - Prévission du mélange de combustibles marins jusqu'en 2050 (DNG VL 2019).

Pour la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, le premier résultat concret est l'aboutissement d'un accord entre Total et l'armateur CMA CGM pour la fourniture d'environ 270 000 tonnes de GNL par an pendant dix ans à partir de 2021. Ce volume couvrira l'approvisionnement de neuf futurs porte-conteneurs CMA CGM, dont la livraison est prévue à partir de 2021. Ce soutage sera effectué dans le port de Marseille par un petit méthanier (Ship-to-Ship).

Corse Line a également annoncé une commande pour un ferry GNL à destination de Marseille livrable en 2022.

En outre, le port de Marseille a accueilli pour la première fois un navire de croisière au GNL, le Costa Smeralda, en décembre dernier. D'autres annonces pourraient être faites par les armateurs dans les mois et années à venir, surtout si la zone ECA en Méditerranée devient une réalité.

Si les perspectives sont encourageantes, l'évolution de la consommation de GNL pour cet usage reste incertaine: certains armateurs hésitent devant le coût supplémentaire des navires au GNL et, dans le cas des navires de croisière, le soutage pourrait être effectué à Barcelone, qui offre de tels services, plutôt que dans la région Provence Alpes-Côte d'Azur.

Dans un scénario bas, la consommation se limiterait aux navires déjà commandés (CMA CGM et Corsica Linea) sans autre développement, ce qui porterait les besoins à environ 290 000 tonnes par an à partir de 2022.

Dans un scénario haut, on peut imaginer l'introduction progressive de ferries au GNL dans les ports de Marseille, Toulon et Nice, à raison d'un tous les 2 ans à partir de 2022, soit le renouvellement d'un tiers de la flotte actuelle (4 navires sur 23 pour Corsica Ferries, Corsica Linea et La Méridionale), au même rythme que celui observé ces 10 dernières années.

Chaque nouveau transbordeur de GNL devrait se ravitailler en moyenne à environ 11 ktpa par an. A cela s'ajoute le soutage des paquebots, dont le soutage serait réparti en Méditerranée entre Barcelone et Fos. Un nouveau paquebot tous les 3 ans au cours de la décennie semble réaliste. Leurs besoins sont estimés à 30 ktpa par navire de croisière.

Le soutage devrait être effectué dans le port de Marseille, principalement de navire à navire, avec un soutage occasionnel des ferries par camion à navire. A Toulon, si les ferries se convertissent au GNL, les premières opérations devraient être effectuées par camion-bateau, mais une barge de soutage deviendra rapidement nécessaire si davantage de navires sont pris en charge. Le GNL pourrait ensuite être transporté de Fos sur Mer par voie maritime, ferroviaire ou routière. L'avitaillement à Nice devrait rester exceptionnel et serait effectué exclusivement par des camions-citernes.

Par ailleurs, à l'instar de l'utilisation du carburant routier, la région PACA, grâce à ses terminaux méthaniers de Fos sur Mer, est susceptible d'approvisionner les régions voisines en GNL pour le carburant marin, notamment l'Occitanie et l'Italie du Nord. En fonction des volumes concernés et de la distance, ces flux peuvent se faire par voie terrestre via des navires-citernes, ou par voie maritime via des méthaniers de petite taille.

#### **1.4.5 Carburant fluvial GNL**

Le réseau fluvial de Provence-Alpes-Côte d'Azur est particulièrement important avec environ 140 km de voies navigables et 6 écluses sur les principales voies d'eau. Elle est constituée de cours d'eau qui permettent le déplacement de grands volumes. Toutefois, le développement de l'utilisation du GNL ne semble pas aussi prometteur que celui du carburant routier ou marin. La durée de vie de la flotte est très longue, ce qui limite le potentiel de pénétration des énergies alternatives. La situation économique du transport fluvial limite sa capacité à supporter les coûts d'investissement supplémentaires de la propulsion au GNL (de l'ordre de 40 à 50%).

Or, le bassin du Rhône est directement relié aux terminaux méthaniers de Fos-Tonkin et de Fos Cavaou et la taille des navires se prête bien à la conversion au GNL. Une étude financée par la Commission européenne (logistique du GNL) en 2016-2019 prévoyait une consommation de 60 000 m<sup>3</sup> de GNL (27 ktpa) par an en 2030, ce qui serait le scénario optimal. L'avitaillement s'effectuerait vraisemblablement par truckto-ship et se répartirait entre Fos et la région lyonnaise (excluant ainsi la région PACA), section sur laquelle s'effectue l'essentiel du trafic (Figure 19).



Figure 19 - le réseau fluvial de Provence-Alpes-Côte d'Azur

Cependant, compte tenu des incertitudes qui pèsent sur le développement de la filière, au vu des coûts à mobiliser et des faibles volumes concernés, un scénario bas signifierait qu'aucune péniche fonctionnant au GNL ne verrait le jour sur le Rhône.

#### 1.4.6 Carburant ferroviaire GNL

Les trains en France utilisent deux modes de propulsion: thermique (diesel) et électrique. Sur les 30 000 kilomètres de lignes du réseau ferroviaire français, 15 000 kilomètres sont électrifiés et représentent 90% du trafic voyageurs. L'autre moitié des lignes n'est donc desservie que par des locomotives diesel. Deux options peuvent être envisagées pour promouvoir le développement durable du mode de transport ferroviaire

- l'électrification des lignes
- une motorisation écologique et autonome (la locomotive transporte sa propre énergie de propulsion).

Le coût de l'électrification des lignes varie entre 0,35 et 1,5 million d'euros par kilomètre de voie unique, et entre 0,7 et 3 millions d'euros pour une ligne à double voie, hors coûts de maintenance. Ces coûts signifient qu'il y a maintenant peu de lignes pour lesquelles l'électrification est économiquement viable.

L'introduction de la motorisation verte permet de répercuter le coût de l'infrastructure sur le coût du matériel roulant. C'est la stratégie qui a été privilégiée. Actuellement, les principaux fabricants de matériel roulant (Bombardier et Alstom) concentrent leurs efforts sur l'hydrogène et négligent le GNC.

En mars 2020, un prototype de locomotive à hydrogène a été approuvé pour le réseau ferroviaire européen. Cependant, l'hydrogène reste très coûteux, tant en termes d'équipement que de carburant. L'hydrogène carburant coûte entre 100 et 200 euros par MWh, ou entre 4 et 6 euros par kg (prix à la sortie de l'usine d'électrolyse), si la durée de fonctionnement est supérieure à 7 000 heures par an. Les coûts de compression doivent être ajoutés à ce prix pour atteindre un total d'environ 10 euros/kg. En comparaison, le marché de gros du gaz devrait rester stable en dessous de 20 €/MWh et le GNL à la pompe en France est autour de 1€/Kg. En outre, dans la grande majorité des cas, les locomotives sont ravitaillées au dépôt par des camions-citernes. Cela signifie que le passage aux locomotives au GNL ne compromettrait ni la logistique ni les pratiques existantes.

Le transport ferroviaire diesel français est composé de 3 500 locomotives avec des réservoirs d'environ 2,1m<sup>3</sup> ou 0,94 tonnes. En ce qui concerne la région PACA, le matériel roulant se compose de 137 locomotives<sup>7</sup>, dont 58 sont thermiques. On pourrait imaginer le rétrofit ou l'achat de deux locomotives GNL pour 2023 pour l'homologation et, après un test concluant, l'achat de 10 locomotives supplémentaires pour les lignes non électrifiées (Figure 20) vers 2026. Dans un scénario élevé, avec une moyenne d'un réservoir par jour, les deux premières locomotives consommeraient 687 tpa, puis augmenteraient encore pour atteindre 4 122 tpa avec l'ajout de 10 locomotives supplémentaires. Dans un scénario pessimiste, l'hydrogène serait le carburant idéal pour les chemins de fer.

Il est à noter que si le GNL n'est pas encore transporté par voie ferroviaire en France, il fait partie des matières dangereuses couvertes par le règlement ferroviaire international "RID" et peut être transporté dans des conteneurs cryogéniques adaptés: wagons GNL ou conteneurs ISO. Elengy étudie des plans pour connecter le terminal de Fos Tonkin au réseau ferroviaire national dans le but de transporter le GNL par train d'ici 2023. Grâce à ce mode de transport, il sera possible de fournir, à des coûts compétitifs, des installations de stockage satellites, dont certaines pourraient être situées dans la zone de coopération de Marittimo (Italie du Nord, par exemple).

---

<sup>7</sup> jusqu'au 14 mars 2020



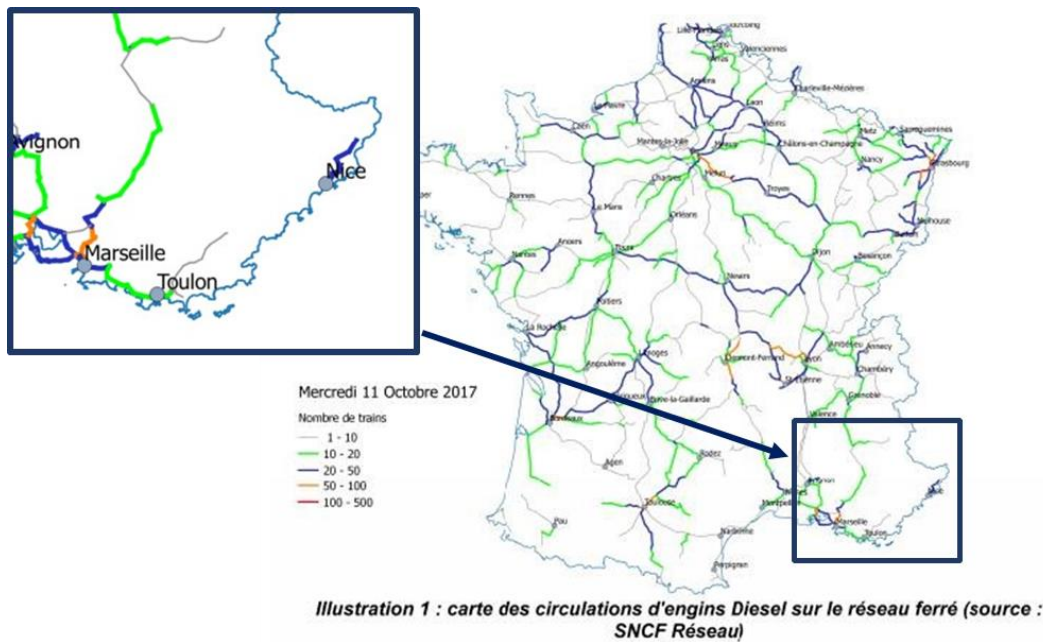


Figure 20 - Carte de la circulation des trains diesel sur le réseau ferroviaire (source: réseau SNCF)

### 1.4.7 Utilisation intérieure du GNL

Depuis 2017, des cas d'utilisation de GNL à des fins domestiques dans des zones éloignées du réseau national de distribution de gaz naturel ont été recensés. La première municipalité à utiliser le GNL pour son réseau local est la municipalité de Molveno dans le Trentin-Haut-Adige. Cette dernière, afin d'alimenter son réseau de distribution municipal de 4,4 km de long, s'est équipée d'une petite usine de regazéification. L'installation comprend un réservoir de GNL de 80 m<sup>3</sup> (équivalent à 56 000 m<sup>3</sup> de gaz naturel à une pression de réseau de 2,4

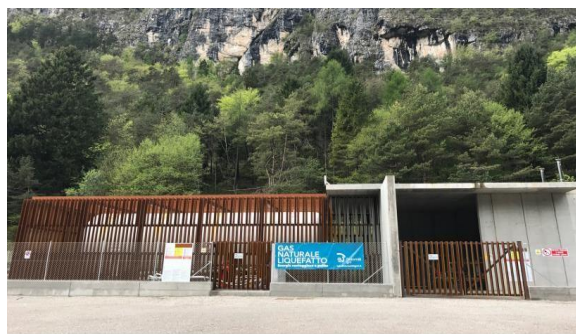


Figure 21- La station de Molveno

bar), qui peut assurer une capacité de livraison de 2 500 m<sup>3</sup>/heure (voir graphique 18). 1,7 million d'euros, entièrement financé par la société énergétique Dolomiti GNL qui approvisionne le réseau par camions-citernes environ cinq fois par an. Une deuxième municipalité, Marilleva, également dans le Trentin, a suivi l'exemple de Molveno et d'autres municipalités de la région ont manifesté leur intérêt.

Cette nouvelle tendance italienne pourrait être adoptée en région PACA dans les territoires non couverts par le réseau de distribution de GrDF (voir Figure 19). Cela concernerait principalement les départements des Alpes Maritimes (06) et des Alpes de Haute Provence (04). On pourrait supposer que les municipalités de la région qui souhaitent verdir leur réseau énergétique avec du fioul ou du GPL adopteraient le GNL. Dans un scénario élevé, nous assisterions à la conversion au GNL d'une petite municipalité chaque année, ce qui entraînerait une augmentation de 5 camions par an, ce qui représenterait environ 100 tonnes par an. Cela représenterait une dizaine de municipalités en 10 ans pour une consommation de 1000 tonnes de GNL par an. Le scénario pessimiste retenu serait la non-application de ce qui précède par toute municipalité de la région.

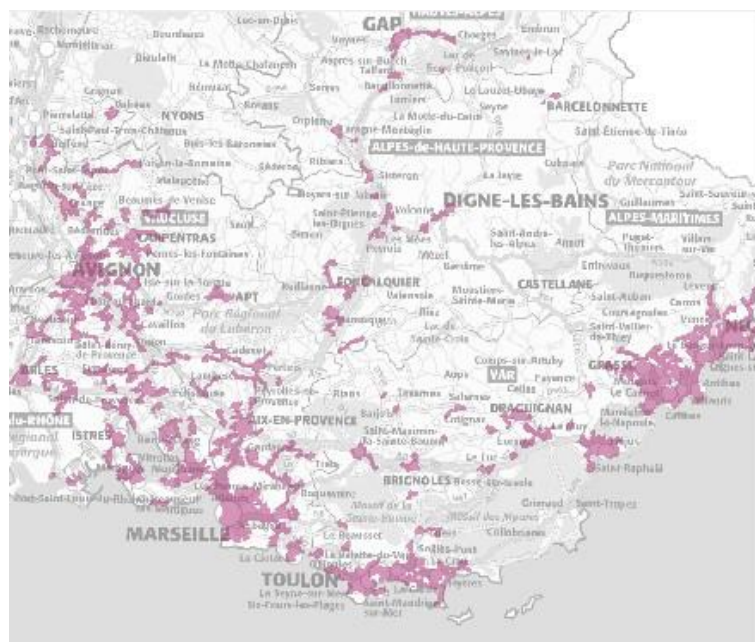


Figure 22- Carte du réseau GrDF en région PACA (zones en violet)

### 1.4.8 Utilisations industrielles GNL

En ce qui concerne les industriels, il existe des perspectives de développement sur la conversion de leur réseau énergétique (tant pour le chauffage en remplacement des chaudières au fioul ou au GPL que pour les processus de production). Seuls les sites qui ne peuvent être raccordés au réseau de distribution de gaz naturel opteraient pour le GNL.

A ce jour (2019), deux sites industriels de la région PACA sont approvisionnés en GNL, avec 51 réservoirs (soit environ 1 000 t). Dans un scénario haut, on pourrait imaginer la progression d'un site industriel tous les 3 ans qui se doterait de 25 cuves de GNL par an, soit environ 500 tonnes par an (3 sites en 10 ans pour 1500 t de GNL par an). Pour le GNL national, ces sites seraient principalement situés dans les départements des Alpes-

Maritimes (06) et des Alpes de Haute-Provence (04). Un scénario bas serait qu'aucun site industriel ne se convertisse au GNL.

### 1.4.9 Analyse comparative des scénarios haut et bas

Après avoir examiné les opportunités de développement du GNL dans la région PACA, la comparaison entre les scénarios “haut” et “bas” peut être faite.

Il convient tout d'abord de noter que les utilisations du GNL présentant le plus grand potentiel sont les carburants routiers et marins. Ce sont les seuls usages qui sont retenus dans le scénario bas (

SCENARIO PESSIMISTE (en Ktpa)	USAGES						
	Production électrique	Carburants				Usage historique du gaz	
	Stations mobiles	Routier	Marin	Fluvial	Ferroviaire	Domestique	Industriel
2020	0	5	0	0	0	0	1
2021	0	9	135	0	0	0	1
2022	0	13	290	0	0	0	1
2023	0	17	290	0	0	0	1
2024	0	22	290	0	0	0	1
2025	0	26	290	0	0	0	1
2026	0	30	290	0	0	0	1
2027	0	34	290	0	0	0	1
2028	0	38	290	0	0	0	1
2029	0	40	290	0	0	0	1
2030	0	42	290	0	0	0	1

Tableau 8). Les autres utilisations qui sont actuellement considérées comme des utilisations de niche ne sont pas incluses dans le scénario bas.

Pour le carburant automobile, on part du principe d'un taux de croissance annuel linéaire comme observé ces dernières années, mais qui culmine en 2028 en raison d'un équilibre atteint sur le marché avec les autres modes de propulsion.

Pour le secteur maritime, il est fait référence aux commandes de navires GNL estimées à ce jour.



SCENARIO PESSIMISTE (en Ktpa)	USAGES						
	Production électrique	Carburants				Usage historique du gaz	
	Stations mobiles	Routier	Marin	Fluvial	Ferroviaire	Domestique	Industriel
2020	0	5	0	0	0	0	1
2021	0	9	135	0	0	0	1
2022	0	13	290	0	0	0	1
2023	0	17	290	0	0	0	1
2024	0	22	290	0	0	0	1
2025	0	26	290	0	0	0	1
2026	0	30	290	0	0	0	1
2027	0	34	290	0	0	0	1
2028	0	38	290	0	0	0	1
2029	0	40	290	0	0	0	1
2030	0	42	290	0	0	0	1

Tableau 8 - projection sur 10 ans du scénario pessimiste

Dans le scénario optimiste, les développements concernent chacune des utilisations possibles (

SCENARIO OPTIMISTE (en Ktpa)	USAGES						
	Production électrique	Carburants				Usage historique du gaz	
	Stations mobiles	Routier	Marin	Fluvial	Ferroviaire	Domestique	Industriel
2020	0	11	0	0	0	0	1
2021	8	22	146	0	0	0,1	1,5
2022	8	32	312	2	0	0,2	1,5
2023	8	43	353	5	0,7	0,3	1,5
2024	8	53	364	8	0,7	0,4	2
2025	8	64	375	11	4,1	0,5	2
2026	8	74	416	14	4,1	0,6	2
2027	8	85	427	18	4,1	0,7	2,5
2028	8	95	438	21	4,1	0,8	2,5
2029	8	103	479	24	4,1	0,9	2,5
2030	8	111	490	27	4,1	1	3

Tableau 9), en particulier:

- L'installation de stations mobiles de production d'électricité pour les navires à quai serait échelonnée en fonction de l'arrivée de nouveaux navires ou des adaptations de la flotte existante.
- sur la route, en plus de l'ajout prévu de 3 stations publiques chaque année, il y a le développement de stations privées couvrant les besoins de 100 camions GNL par an.
- en ce qui concerne le carburant marin, en plus de l'accord de fourniture entre CMA CGM et le navire Corsica Lines, il est prévu d'avitailer un ferry supplémentaire tous les deux ans et un paquebot supplémentaire tous les trois ans.

- pour le carburant fluvial, l'augmentation de la consommation correspond aux volumes d'une étude européenne qui estime les besoins à 27 ktpa avec des approvisionnements répartis entre Fos et Lyon.
- Le GNL pourrait être adopté comme substitut du diesel pour le carburant ferroviaire. On peut imaginer, pour deux locomotives, les volumes nécessaires à la certification, puis une commande de 10 locomotives en 2025. Puisque ceux-ci sont souvent commandés par lots.
- pour le GNL domestique, le scénario optimiste retenu correspond à la conversion d'une petite municipalité par an au GNL.
- pour l'usage industriel, les volumes représentent l'ajout d'un client industriel tous les 3 ans avec une consommation annuelle de 25 réservoirs de GNL.

A l'horizon 2030 (

SCENARIOS A 2030 (en Ktpa)	USAGES						
	Production électrique	Carburants				Usage historique du gaz	
	Stations mobiles	Routier	Marin	Fluvial	Ferroviaire	Domestique	Industriel
Bas	0	42	290	0	0	0	1
Haut	8	111	490	27	4	1	3

Tableau 10), la comparaison des volumes révèle la part prépondérante du GNL comme carburant marin, mais avec une logistique essentiellement maritime et très concentrée (opérations de soutage de navire à navire couvertes par deux ou trois méthaniers ou barges de soutage et complétées par un service de camion à navire). A l'inverse, le GNL carburant contribuera de manière importante au développement du réseau de distribution intérieur avec l'augmentation du nombre de stations-service et du trafic de camions-citernes associé. Un certain trafic ferroviaire pourrait être développé entre le bassin portuaire de Marseille et le port de Toulon avec le transport de méthaniers pour alimenter ce dernier (en carburant marin ou pour des stations électriques à quai). Ce transport ferroviaire est subordonné au développement d'autres transports de conteneurs entre les deux ports permettant la circulation de trains complets.

SCENARIO OPTIMISTE (en Ktpa)	USAGES						
	Production électrique	Carburants				Usage historique du gaz	
	Stations mobiles	Routier	Marin	Fluvial	Ferroviaire	Domestique	Industriel
2020	0	11	0	0	0	0	1
2021	8	22	146	0	0	0,1	1,5
2022	8	32	312	2	0	0,2	1,5
2023	8	43	353	5	0,7	0,3	1,5
2024	8	53	364	8	0,7	0,4	2
2025	8	64	375	11	4,1	0,5	2
2026	8	74	416	14	4,1	0,6	2
2027	8	85	427	18	4,1	0,7	2,5
2028	8	95	438	21	4,1	0,8	2,5
2029	8	103	479	24	4,1	0,9	2,5
2030	8	111	490	27	4,1	1	3

Tableau 9 - projection hypothétique d'un scénario optimiste sur 10 ans

SCENARIOS A 2030 (en Ktpa)	USAGES						
	Production électrique	Carburants				Usage historique du gaz	
	Stations mobiles	Routier	Marin	Fluvial	Ferroviaire	Domestique	Industriel
Bas	0	42	290	0	0	0	1
Haut	8	111	490	27	4	1	3

Tableau 10- volumes des scénarios pessimistes et optimistes à 2030

Globalement (Figure 23), on observe une forte augmentation des volumes en 2021 et 2022, en raison de la mise en œuvre et de l'accélération de l'accord CMA CGM, pour les deux types de scénario. A partir de 2022, un scénario à tendance faible avec une croissance limitée due au GNL routier et un scénario à tendance forte avec une croissance plus forte due aux différentes utilisations possibles du GNL sont esquissés.



Figure 23 - Volumes estimés dans les scénarios pessimiste et optimiste (Kt/a)

### 1.4.10 Résumé des estimations

Après avoir examiné la multiplicité des usages potentiels du GNL, l'évolution du réseau de distribution et de transport en région Provence-Alpes-Côte d'Azur dans les années à venir sera principalement orientée vers les secteurs routier et maritime

#### **Secteur routier:**

- augmenter le nombre de stations-service de méthane le long des routes principales et à proximité des plateformes logistiques de la zone
- le développement de stations privées sur les plateformes d'exploitation des transporteurs routiers.

Les stations-service du territoire étant alimentées par les réservoirs de GNL des terminaux de Fos, leur développement entraînera une augmentation des flux de transport par camions-citernes. Ces flux seront concentrés sur les principaux axes routiers: axe sud-nord le long de l'A7, axe ouest-est de Fos à Marseille-Toulon-Nice (A55, A50, A8), axe est-ouest de Fos à Nîmes puis à l'Occitanie (N568, A54). En outre, les terminaux de Fos étant la principale source d'approvisionnement des stations-service et des sites de stockage de GNL en Italie, les flux ouest-est seront renforcés vers l'Italie. Dans une mesure plus limitée, un flux régional vers Gap se développera.

La carte ci-dessous (graphique 24) identifie les centres logistiques de la région et le réseau routier principal qui y est relié. Les développements logistiques récents dans la région se concentrent sur ces centres ou le long des axes identifiés. Il en va de même pour les développements futurs. Cette cartographie permet donc d'émettre des hypothèses sur l'emplacement du futur réseau de stations-service (environ 25 nouvelles stations, sans compter les stations privées): principalement au niveau des pôles logistiques et, dans une moindre mesure, le long des routes principales en dehors de ces pôles.

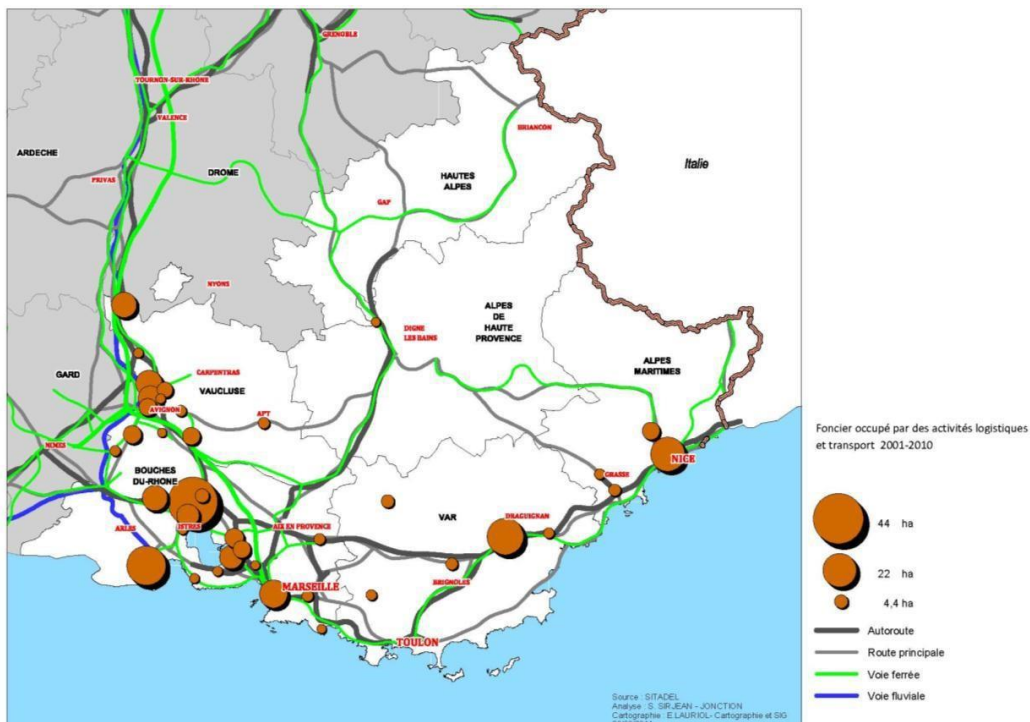


Figure 24 - Logistique et transport territorial 2001-2010 (source: <http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr>)

## Secteur maritime:

Le GNL comme carburant marin devrait être utilisé pour la première fois à petite échelle dans la région au cours des deux prochaines années. L'arrivée des ferries et des navires de croisière au GNL obligera les ports à s'équiper de solutions de soutage au GNL.

Selon les ports, les solutions peuvent être de différents types.

- le port de Marseille-Fos accueillera le petit méthanier de Total qui approvisionnera les porte-conteneurs de l'armateur CMA CGM. D'autres petits méthaniers ou barges pourraient approvisionner d'autres navires à mesure que le trafic augmente.
- Plusieurs solutions sont disponibles à Toulon:
- Dans un premier temps, les solutions de type camion-navette sont adaptées aux petits volumes (fourniture de ferries), complétées par la fourniture de centrales mobiles à terre par des camions-citernes.
- Par la suite, au fur et à mesure de l'augmentation des volumes, un stockage à quai est envisagé avec un approvisionnement ferroviaire ou maritime (au moyen de petits méthaniers).

- Une solution alternative au stockage à terre reste le stockage de navire à navire au moyen de petits méthaniers ou de barges, éventuellement complété par le stockage de camion à navire pour les plus petits volumes.
- À Nice, le potentiel du marché étant plus limité, la solution du transport par camion semble être la plus adaptée.

Ces développements seraient alors associés à un flux Ouest-Est (routier, maritime ou même ferroviaire), où Fos-sur-Mer serait le seul point d'approvisionnement des ports de Marseille, Toulon et Nice pour leurs besoins en GNL.

### **Autres utilisations**

D'autres usages ont un potentiel de développement plus limité, mais peuvent être parfaitement adaptés à certaines problématiques locales. Compte tenu des volumes relativement faibles et de la flexibilité attendue, les livraisons seront effectuées par camions-citernes.

- L'utilisation industrielle doit rester limitée à des emplacements éloignés des centres de population et des réseaux de gaz. Elle ne devrait toucher qu'un très petit nombre d'endroits et ne devrait donc pas avoir d'impact significatif sur le réseau de distribution du GNL.
- Le potentiel du combustible fluvial reste limité, mais un développement est encore possible à moyen terme.
- Pour le GNL domestique, les perspectives sont encore incertaines. La décision appartient aux municipalités, qui ont tendance à privilégier la biomasse lorsqu'elles tentent de développer des sources d'énergie alternatives. Toutefois, il peut y avoir des applications dans certains cas. Dans tous les cas, les volumes resteront très faibles.
- Les solutions mobiles de production d'énergie, via le GNL, pour les navires à quai constituent une réponse mature et rentable. Les ports sont susceptibles de s'équiper de cette solution comme solution de secours, dans une phase de transition ou lorsque le raccordement au réseau est trop complexe. Cependant, des installations et des procédures appropriées devront être développées dans ces ports.
- Dans le secteur ferroviaire, il faudrait prévoir une période d'homologation des locomotives sur le réseau européen avant tout développement. Si cette approbation était obtenue, le développement pourrait être très rapide grâce aux alternatives limitées et à la logistique facile du rechargement par camions-citernes au dépôt. La chaîne d'approvisionnement ne serait pas interrompue. Bien sûr, à terme, des dépôts pourraient être situés aux points clés du réseau, par exemple dans des ports maritimes et fluviaux multimodaux reliés au réseau ferroviaire, qui



approvisionneraient alors à la fois les barges maritimes ou fluviales et les locomotives.

Globalement, pour les prochaines années, le modèle de distribution en région Provence-Alpes-Côte d'Azur (Figure 25) restera centré sur Fos comme site d'approvisionnement pour la région et au-delà. Les principaux volumes de distribution seront générés par l'usage maritime à partir de 2021, vers les ports de Marseille et éventuellement de Toulon. Ces flux de distribution se feront principalement par voie maritime et, de manière plus limitée, par voie terrestre, voire ferroviaire. La distribution onshore, bien que plus modeste, continuera à se développer de manière significative. Les flux onshore continueront à être principalement extérieurs à la région (vallée du Rhône et Italie) et augmenteront sensiblement à l'intérieur de la région, où ils alimenteront le nombre croissant de stations GNL, formant, à terme, un réseau d'une trentaine de stations.

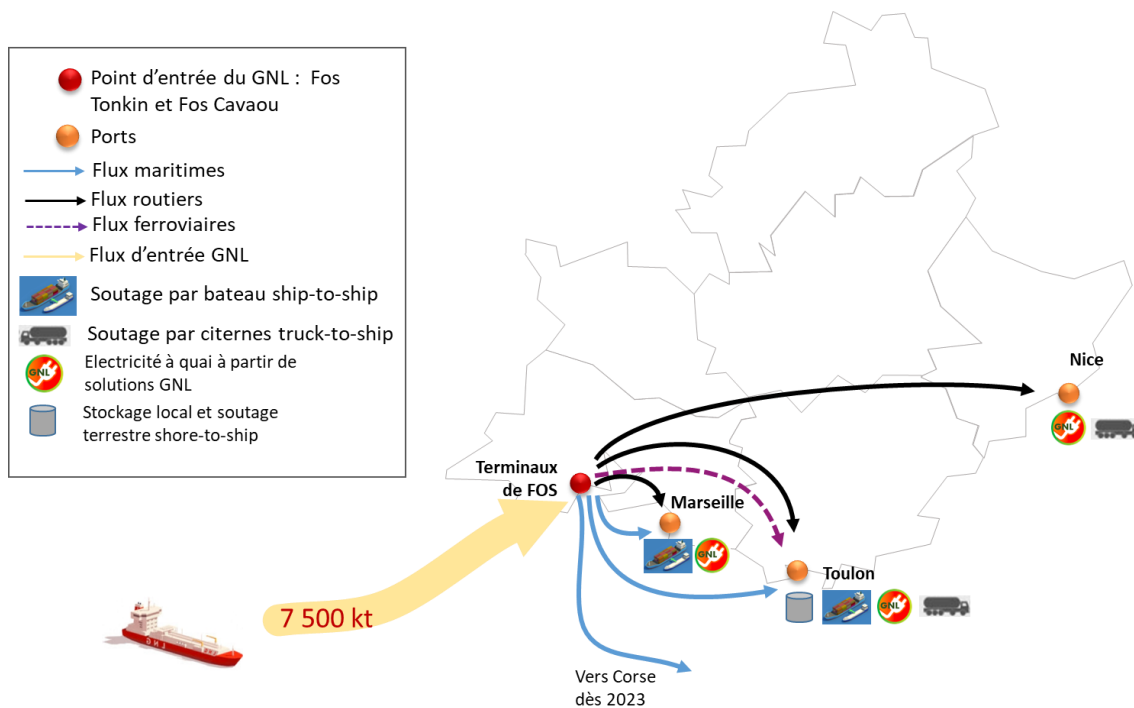


Figure 25 - Cadre du transport et de la distribution du GNL en région PACA: potentiel de développement du GNL dans le secteur maritime et portuaire.

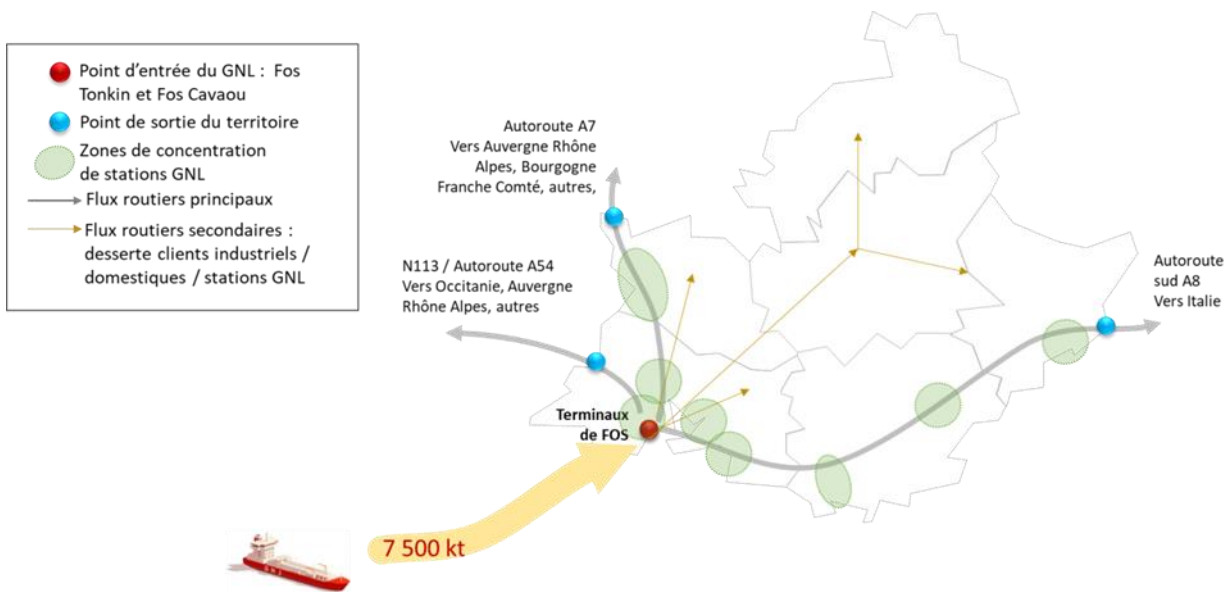


Figure 26 - Cadre du transport et de la distribution du GNL en région PACA: potentiel de développement de la filière GNL terrestre: carburant, clients industriels, clients particuliers.

## 1.5 Projets d'amélioration des réseaux de transport et de distribution de GNL: l'importance de s'adapter à l'évolution rapide du marché

### 1.5.1 Réseau primaire

Maritime : terminaux méthaniers (Fos Tonkin et Fos Cavaou)	Développement des marchés du transbordement et du chargement de navires Bonne accessibilité maritime	Sans objet : répondre aux besoins du marché (absence de problématique technique ou capacitaire)
Routier : terminaux méthaniers (Fos Tonkin et Fos Cavaou)	Croissance forte de la demande en GNL carburant (doublement du marché entre 2018 et 2019) Ouverture du site de Cavaou en 2019 avec 2 baies de chargement (en complémentarité de Tonkin) Bonne accessibilité routière	Sans objet : répondre aux besoins du marché (absence de problématique technique ou capacitaire)
Ferroviaire : terminaux méthaniers (Fos Tonkin et Fos Cavaou)	Des projets à l'étude pour développer une offre d'avitaillement de stockages terrestres situés dans l'hinterland, par voie ferrée depuis les terminaux méthaniers	Sans objet : poursuite des études en cours
Fluvial : terminaux méthaniers (Fos Tonkin et Fos Cavaou)	Absence de besoin marché et de projet identifié pour du transport fluvial de GNL	Sans objet

## 1.5.2 Réseau secondaire (stations-service GNL, soutage des navires)

Volet	Contexte	Axe d'amélioration / recommandations
Maritime : port de Marseille	<p>Croissance du marché des navires propulsés au GNL</p> <p>Contrat entre CMA CGM et Total pour avitaillement des porte-conteneurs par un navire avitailleur (270 kt /an)</p> <p>Absence d'offre d'avitaillement GNL à ce jour, au-delà d'expérimentations réalisées</p>	<p>Assurer la compétitivité du port de Marseille pour l'avitaillement GNL : coûts, solutions techniques, opérations, délais, sécurité, etc.</p> <p>Proposer des solutions alternatives au navire avitailleur afin d'apporter flexibilité et continuité de l'offre : <i>truck to ship</i> (avec ou sans stockage terrestre local), <i>shore to ship</i> (avec stockage terrestre local)</p>
Maritime : autres ports de la région PACA (Toulon, Nice)	<p>Croissance du marché des navires propulsés au GNL</p> <p>Absence d'offre d'avitaillement GNL à ce jour</p>	<p>Evaluer l'intérêt et la faisabilité (capacité résiduelle, opérations, coûts) du recours au navire avitailleur de Total dans les ports de la région PACA</p> <p>Proposer des solutions alternatives au navire avitailleur afin d'apporter flexibilité et continuité de l'offre : <i>truck to ship</i> (avec ou sans stockage terrestre local), <i>shore to ship</i> (avec stockage terrestre local), <i>ship to ship</i> (avec une solution plus légère telle qu'une barge emportant des conteneurs de GNL. Pour le port de Toulon : approvisionnement en conteneurs possibles par le train, sous réserve de flux complémentaires au GNL).</p>
Routier : stations-services GNL	<p>Croissance forte du marché du GNL carburant</p> <p>Une offre réduite et un maillage peu étoffé : seules 3 stations présentes sur le territoire, dans un seul département</p>	<p>Développer le maillage des stations-services GNL sur le territoire : cibler les zones logistiques et les grands axes de transport</p>

## 1.5.3 Prévision des besoins en carburant pour le GNL

Il existe peu d'études sur l'évolution de la demande de GNL carburant à l'échelle nationale. Selon les sources considérées, il est possible d'estimer la consommation de GNL carburant dans la région PACA à l'horizon 2030 entre ~40.000 t et ~80.000 t.

L'association européenne NGVA <sup>8</sup>prévoit un taux d'introduction des moteurs GNC (gaz naturel pour véhicules) pour les véhicules lourds allant jusqu'à 25% en 2030. Dans l'hypothèse de 50% de moteurs GNC et 50% de moteurs GNL, le taux d'introduction des moteurs GNL parmi les véhicules lourds serait de 12,5%, soit une consommation d'environ 43 000 t de GNL dans la région PACA. Les étapes de l'estimation de la valeur mentionnée sont résumées ci-dessous:

- taux de nouveaux tracteurs routiers équipés de moteurs GNL d'ici 2030: 12,5%:
- un trafic de marchandises stable au cours des 10 prochaines années
- consommation moyenne de diesel des tracteurs routiers de 44 t: 32 l/100km
- kilométrage en région PACA: 1137 millions de km
- Kilométrage en région PACA des tracteurs routiers GNL de 44 t: 142 millions de km (12,5% x 1137 Mkm):
- consommation estimée de GNL: 42,6 kt

De son côté, l'association AFGNV<sup>9</sup> prévoit de mettre en circulation 220 000 camions GNC en France d'ici 2030. En considérant une part de 30% de tracteurs routiers parmi les camions (source: data.gouv.fr 2018) et en supposant un ratio équilibré de moteurs GNC/GNL parmi ces tracteurs routiers, le nombre de tracteurs routiers de 44 t fonctionnant au GNL à l'horizon 2030 peut être estimé à 33 000 véhicules en France. Cela correspond à une consommation d'environ 80 000 t de GNL dans la région PACA. Les étapes de l'estimation de la valeur mentionnée sont résumées ci-dessous:

- nombre total de tracteurs routiers de 44 tonnes: 33000;
- kilométrage annuel: 3800 millions de km,
- consommation moyenne de diesel des tracteurs routiers de 44 t: 32 l/100km
- Consommation de GNL à l'échelle nationale: 1,14 Mt;
- pourcentage de la consommation dans la région PACA: 7%;
- Consommation de GNL dans la région PACA à l'horizon 2030: 80 000 tonnes.

En ce qui concerne le nombre de stations de GNL nécessaires pour répondre à la demande de GNL, en supposant:

- un taux d'utilisation moyen de 50% pour une station GNL (pour une capacité totale de 5000 t/an par station), soit la fourniture de 2500 t/an de GNL par station;

<sup>8</sup> Association des véhicules à gaz naturel et biologique

<sup>9</sup> Association Française du Gaz Naturel Véhicules

- Besoins en carburant GNL entre 40 kt et 80 kt dans la région PACA,

le nombre de stations GNL nécessaires dans la région PACA se situe entre 17 et 34 (contre 3 actuellement).

#### 1.5.4 Approvisionnement des îles

L'une des utilisations du GNL est l'approvisionnement (ou la production) dans des zones où le raccordement aux réseaux nationaux d'électricité et de gaz n'est pas possible. C'est typiquement le cas pour certaines îles. La Corse, par exemple, est une zone non interconnectée (ZNI) au réseau électrique continental. Elle est également le premier territoire français à avoir adopté, dès 2015, une programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) qui prévoit l'approvisionnement en gaz naturel de l'île et la besoin de sécuriser l'alimentation énergétique de la Corse. La PPE prévoit pour 2023, la conversion des deux centrales thermiques de Corse (centrale de Lucciana au nord-est et centrale d'Ajaccio au sud-est de l'île) en centrale à cycle combiné gaz (CCG) d'une puissance d'environ 250 MW fonctionnant au gaz naturel. Ce choix permet de répondre à la fois à un besoin de renouvellement de la centrale vieillissante d'Ajaccio fonctionnant actuellement au fioul lourd et aussi aux besoins de base et de pointe de l'île très tournée vers les énergies renouvelables. Le gaz nécessaire à l'alimentation de ces centrales serait transféré sous forme de GNL à partir des terminaux de Fos.

La PPE prévoit un volume estimé à 80 000 tonnes par an de GNL pour l'alimentation des deux centrales dès 2023. On mentionne ici ce débouché small scale conséquent des terminaux de Fos à titre d'information mais dans la mesure où la Corse ne fait pas partie du territoire régional, il n'est pas repris dans les scénarios. La Sardaigne disposera quant à elle d'un terminal de réception de GNL Small scale à l'horizon 2021, qui pourrait également être alimenté depuis les terminaux de Fos.

S'agissant des îles de la région PACA, il n'existe pas pour l'instant de chaînes de fourniture en énergie actives ou en projet basées sur le GNL.

#### 1.5.5 Les Solutions mobiles de production d'électricité pour les navires à quai

En 2020, 20% de la population française est exposée à une pollution de l'air qui serait responsable de 67 000 décès prématurés en France<sup>10</sup>. Les populations des grands ports font parties des populations exposées à la pollution issue des fumées des paquebots et ferries à quai. La pollution de l'air est devenue est un enjeu sanitaire. La région PACA a

---

<sup>10</sup> Selon une étude européenne publiée dans la revue European Heart Journal (<https://academic.oup.com/eurheartj>)



lancé en 2019 un plan de 30 millions d'euros pour électrifier les quais de Marseille, Nice et Toulon, avec pour objectif la suppression à terme, de la totalité des émissions atmosphériques. Ces investissements porteront à la fois sur l'infrastructure du port (mise en place de transformateurs de voltage, de convertisseurs de fréquence Hertz et d'une armoire de distribution équipée des dispositifs de sécurité) mais aussi sur les navires.

Néanmoins, des solutions GNL mobiles peuvent intervenir dans la phase de transition ou si des raisons techniques venaient à empêcher l'intégralité de l'électrification des quais. La première de ces solutions est un dispositif de fourniture d'électricité GNL disposé à quai mise au point par la société Air Flow et qui nécessite peu d'espace à quai. Elle consiste à brûler le GNL d'une citerne dans des groupes électrogènes en passant par une étape de regazéification du GNL, puis de conversion de l'électricité au format attendu par le navire (cf. Figure 27). Cette solution convient pour les ferries, à hauteur de 2 MW de puissance. Au-delà, pour les navires de croisière par exemple, cette puissance ne suffit pas, mais des solutions sont à l'étude comme la station flottante multi fonction développée par Sofresid: elles serait capable de fournir une puissance électrique de 20 MW (en plus de la conversion de la fréquence de 50Hz à 60Hz pour les navires) mais également d'assurer le soutage en GNL, le tri sélectif et la collecte des déchets du navire sans perturber les opérations commerciales de ce dernier (Figure 27).



Figure 27 - Solution mobile d'Air Flow (sn) - Péniche multifonctionnelle de Sofresid (dx)

Une alternative consiste à produire l'électricité à quai à partir d'hydrogène et d'une pile à combustible d'une puissance de 1 à 2 MW (pour laquelle une étude de la chambre de commerce du Var est en cours). Le coût et la mise en place d'une telle solution reste a priori significativement supérieur à celle des solutions GNL. On peut imaginer un scénario bas à 0, où l'électrification se ferait soit par raccordement au réseau ENEDIS, soit via des solutions mobiles à l'hydrogène. Dans un scénario optimiste, le GNL viendrait alimenter une partie des escales dans les ports de la région, notamment à Nice. En retenant un chiffre prudent de 400 escales par an tous ports confondus, consommant chacune 1 citerne, on obtient donc 400 citernes de 20 tonnes soit 8ktpa.

.

## 1.6 Distribution de GNL dans le port de Toulon

La région méditerranéenne, du golfe de Lyon à la mer Ligure, est parsemée d'infrastructures GNL (Figure 28). En particulier, les deux terminaux FOS TONKIN et FOS CAVAOU situés en région PACA sont les sources d'approvisionnement privilégiées pour Toulon.

Les sites sont équipés de:

- Les baies de distribution qui permettent le chargement des camions-citernes, d'une capacité totale de 400 000 tonnes par an, sont actuellement utilisées à 30%.
- Systèmes de chargement de petits méthaniers ou de navires de soute.

Pour l'instant, aucun des deux sites n'est directement connecté au réseau ferroviaire bien que le site de Fos Tonkin soit opérationnellement préparé pour une connexion indirecte au réseau ferroviaire par le biais de conteneurs ISO chargés sur la plateforme multimodale située à proximité du site.

Les autres terminaux GNL les plus proches sont ceux de Barcelone et de Carthagène en Espagne et de Panigaglia en Italie. En cas d'approvisionnement par voie ferroviaire, d'autres lieux peuvent être envisagés.

	Fos Tonkin	Fos Cavaou	Total
<b>Capacité <sup>11</sup></b>	36 baies par jour sur 2 quais de chargement ou 190.000 t/an	40 baies par jour sur 2 quais de chargement ou 210.000 t/an*.	400 000 tonnes
<b>Tonnage (2019)</b>	11 000 tonnes	8 000 tonnes	119 000 tonnes
<b>Taux d'utilisation (2019)</b>	60%	4%	30%

Tableau 11 - Capacité et taux d'utilisation des terminaux dans la région PACA <sup>12</sup>

<sup>11</sup> Calculé sur la base de 250 jours d'activité par an.

<sup>12</sup> AESM. (2018) Orientations sur le soutage du GNL à l'intention des autorités et administrations portuaires.

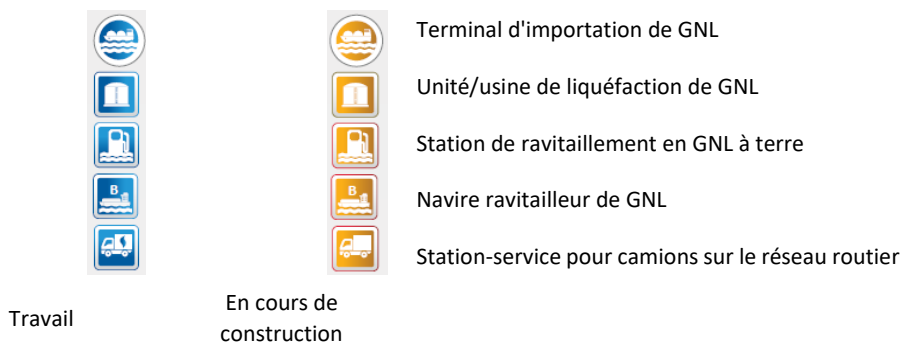


Figure 28 - Carte des infrastructures de GNL (2018) extraite de la carte Gas Infrastructure Europe.

### 1.6.1 La chaîne d'approvisionnement en GNL, du terminal méthanier au navire

Le soutage du carburant peut se faire sur terre par des camions-citernes ou en mer par des navires de soutage. L'approvisionnement en GNL peut également se faire par liquéfaction à partir du réseau de distribution de gaz et par voie ferroviaire.

La Figure 29 résume la chaîne d'approvisionnement en GNL depuis un terminal méthanier jusqu'à un navire de soute, sans stockage local intermédiaire.

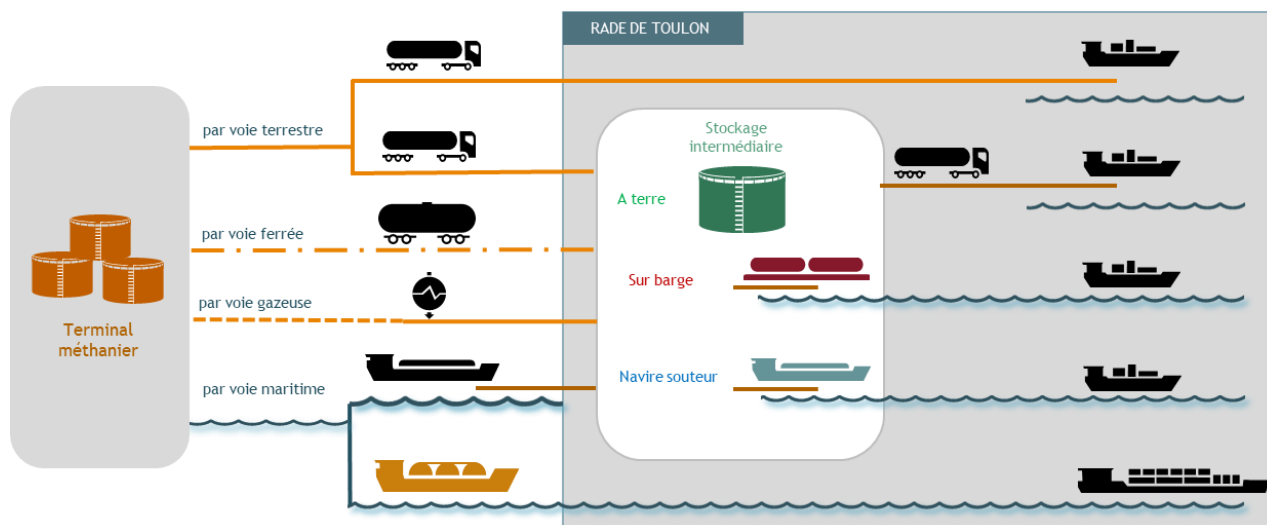


Figure 29 - Résumé des chaînes d'avitaillement possibles

Les opérations de ravitaillement peuvent avoir lieu

- sur le quai;
- avec un bateau

La première catégorie de soutage est la plus courante pour les navires commerciaux et est très contraignante, car elle exige le transfert de certains volumes dans un certain délai. Paradoxalement, cette contrainte affecte particulièrement les navires dont les soutes à combustible sont les plus grandes.

L'EMSA a classé les différentes soutes en fonction du type de navire:

Type de navire (navire receveur)	Capacité de soute m <sup>3</sup>	Débit m <sup>3</sup> /h	Durée	Diamètre des tubes ou des bras de chargement	Mode d'avitaillement approprié
Bateaux de service, remorqueurs, patrouilleurs et bateaux de pêche	50	60	45 minutes	2x2" ou 1x3"	TTS
Petits navires ro-ro et ro-pax	400	400	1 h	2x4" ou 1x6"	TTS/STS
Navires ro-ro et ro-pax de taille moyenne	800	400	2 h	2x4" ou 1x6"	STS
Cargos, porte-conteneurs et petits navires marchands	2 000 à 3 000	1.000	2 à 3 h	2x8" ou 1x12"	STS
Navires marchands de taille moyenne	4.000	1.000	4 h	2x8" ou 1x12"	STS
Pétroliers, vraquiers et porte-conteneurs de taille moyenne	10.000	2.500	4 H	2x10"	STS/PTS
Grands pétroliers et porte-conteneurs	20.000	3.000	7 h	2x12"	STS/PTS

Tableau 12 - Indication du volume typique de soutage au GNL par catégorie de navire

Avec des besoins d'environ 1 800 à 4 000 m<sup>3</sup>, les navires de croisière entrent dans la catégorie des petits navires marchands pour lesquels le soutage STS est préférable.

Dans la suite du document, et pour simplifier, une tonne de pétrole de soute correspond à 2 mètres cubes de GNL.

Le pétrole désigne les combustibles liquides actuellement utilisés. Le terme générique pour tous ces hydrocarbures est le carburant marin classique, qui comprend le fioul lourd (HFO) et le diesel marin léger (DML), qui comprend à son tour le gazole marin (MGO) et le carburant à faible teneur en soufre (LSFO).

### 1.6.2 Avitaillement en combustibles marins dans le port de Toulon

Dans la rade de TOLONE, les carburants marins conventionnels sont principalement utilisés pour:

- les ferries de CORSICA FERRIES, approvisionnés par les pétroliers de la société MARITIMA de Fos (fioul lourd et gazole marin léger)
- navires câbliers ORANGE MARINE, navires de recherche IFREMER et navires de service approvisionnés par des camions-citernes (combustibles marins légers)

Les navires de croisière et les navires rouliers ne sont pas ravitaillés dans le port de TOLONE mais, pour des raisons commerciales plutôt que techniques, dans les ports d'extrémité. Il est très peu probable qu'à l'avenir ces navires se ravitaillent dans le port de TOLONE, avec des carburants marins classiques ou du GNL.

Étant donné le faible volume annuel de soutage par rapport aux ferries, les navires de recherche, les navires de service et les câbliers ne sont pas pris en compte pour le passage au GNL.

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

Tableau 13- Quantités fournies par les camions-citernes pour les navires de recherche de l'IFREMER



Les données sur l'avitaillement dans le port de Toulon ont été fournies par la capitainerie et se rapportent à 2019, année de référence de l'étude.

Date	Navire d'approvisionnement	Nombre de navires fournis	DMLin tonnes	Mazout lourd en tonnes	Mazout lourd par navire en tonnes
03/01/2019	CODE ZIP SICIE	4	185	2200	550
16/01/2019	CODE ZIP SICIE	4	185	2190	548
18/02/2019	CODE ZIP SICIE	4	185	2375	594
01/03/2019	CODE ZIP SICIE	4	185	1795	449
19/03/2019	CODE ZIP SICIE	4	185	2640	660
03/04/2019	CAP AIGUADES	4	185	2145	536
18/04/2019	CAP AIGUADES	4	0	2415	604
25/04/2019	CODE ZIP SICIE	5	185	2850	570
02/05/2019	CAP AIGUADES	4	125	1630	408
14/05/2019	CAP AIGUADES	5	185	2370	474
23/05/2019	CODE ZIP SICIE	6	185	2675	446
31/05/2019	CAP AIGUADES	6	185	2800	467
06/06/2019	CAP AIGUADES	6	185	2280	380
13/06/2019	CODE ZIP SICIE	6	102	2900	483
26/06/2019	CHAPEAU PINCE	1	0	1060	1060
02/07/2019	CODE ZIP SICIE	6	163	2852	475
09/07/2019	CODE ZIP SICIE	6	130	2875	479
16/07/2019	TATIANA B	6	110	2900	483
23/07/2019	TATIANA B	6	90	2900	483
30/07/2019	TATIANA B	6	115	2900	483
06/08/2019	CAP AIGUADES	6	80	2900	483
11/08/2019	CAP AIGUADES	6	0	2244	374
15/08/2019	CAP AIGUADES	6	150	2900	483
21/08/2109	CAP AIGUADES	4	48	2700	675
27/08/2019	CODE ZIP SICIE	6	150	2900	483
03/09/2019	CAP AIGUADES	6	110	2900	483
10/09/2019	CAP AIGUADES	6	185	2900	483
18/09/2019	CAP AIGUADES	6	185	2760	460
26/09/2019	CAP AIGUADES	5	0	2420	484
05/10/2019	CAP AIGUADES	4	185	1970	493
17/10/2019	TATIANA B	5	185	2770	554
12/12/2019	CHAPEAU PINCE	4	130	2385	596
18/12/2019	CODE ZIP SICIE	4	0	2050	513
<b>Total</b>		<b>165</b>	<b>4278</b>	<b>82551</b>	

Tableau 14- Produits de soute fabriqués pour les ferries en 2019 (origine FOS).

Il convient de noter que la fréquence de ravitaillement des ferries au cours de l'année est en moyenne de 11 jours avec une variation de 4 jours minimum autour du 15 août et 56 jours maximum en novembre. La quantité unitaire moyenne arrimée est d'environ 500 tonnes.

Pour les ferries, seul le fioul lourd a été pris en compte car le combustible marin léger ne représente en moyenne qu'environ 5% des soutes et une partie est destinée aux générateurs auxiliaires. Tous les générateurs auxiliaires ne seront pas remplacés en cas de passage au GNL.

Quelques chiffres pertinents:

- **90% des fournitures sont effectuées à TCA:** 74 250 tonnes de fioul lourd
- 10% des approvisionnements sont effectués à Brégaillon ou à Mole Armement, La Seyne-sur-Mer (pendant l'accostage): 8 250 tonnes de fioul lourd, dont 4 250 tonnes à Brégaillon et 4 000 tonnes à Mole Armement, La Seyne-sur-Mer.
- CORSICA FERRIES fournit 8 navires
- Les navires de pilotage ont consommé en 2019 un total de 48 tonnes de LMD, qui ont été réapprovisionnées par 50 pétroliers au cours de l'année;
- En 2019, les navires de service d'amarrage ont consommé un total de 8,5 tonnes de DML, qui ont été réapprovisionnées par 24 pétroliers au cours de l'année;
- La valeur totale est donc de 56,5 tonnes pour les navires de service.
- Les câbliers ORANGE MARINE en 2019 ont été ravitaillés 8 fois pour une consommation totale de 1 212 tonnes de DML. La quantité moyenne ravitaillée est de 152 tonnes.

La Figure 30 montre la répartition de l'avitaillement au cours des différents trimestres de 2019.

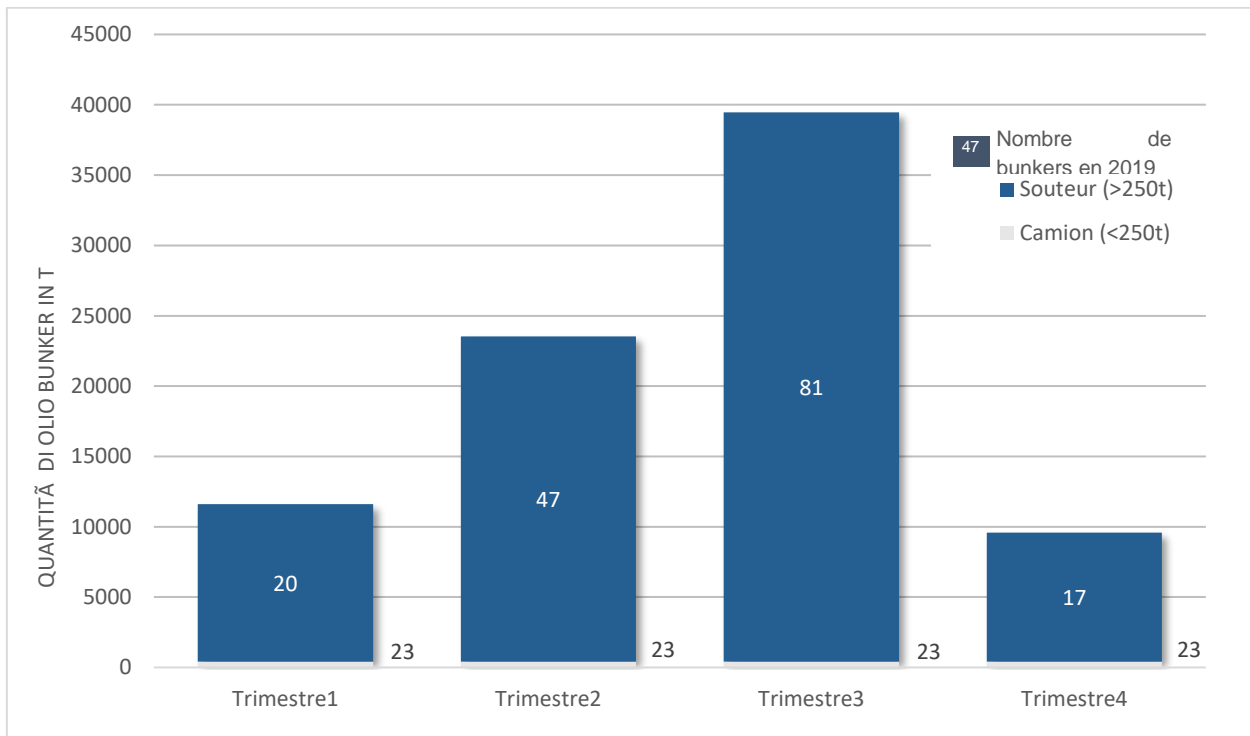


Figure 30 - Répartition de l'avitaillement en tonnes en 2019

Logiquement, la fréquence accrue des ferries pendant l'été entraîne un pic des volumes d'avitaillement pendant cette période. Les volumes élevés du troisième trimestre sont à surveiller et seront abordés plus loin dans cette étude. La quantité de combustible marin léger réapprovisionnée par des pétroliers au cours de l'année est faible.

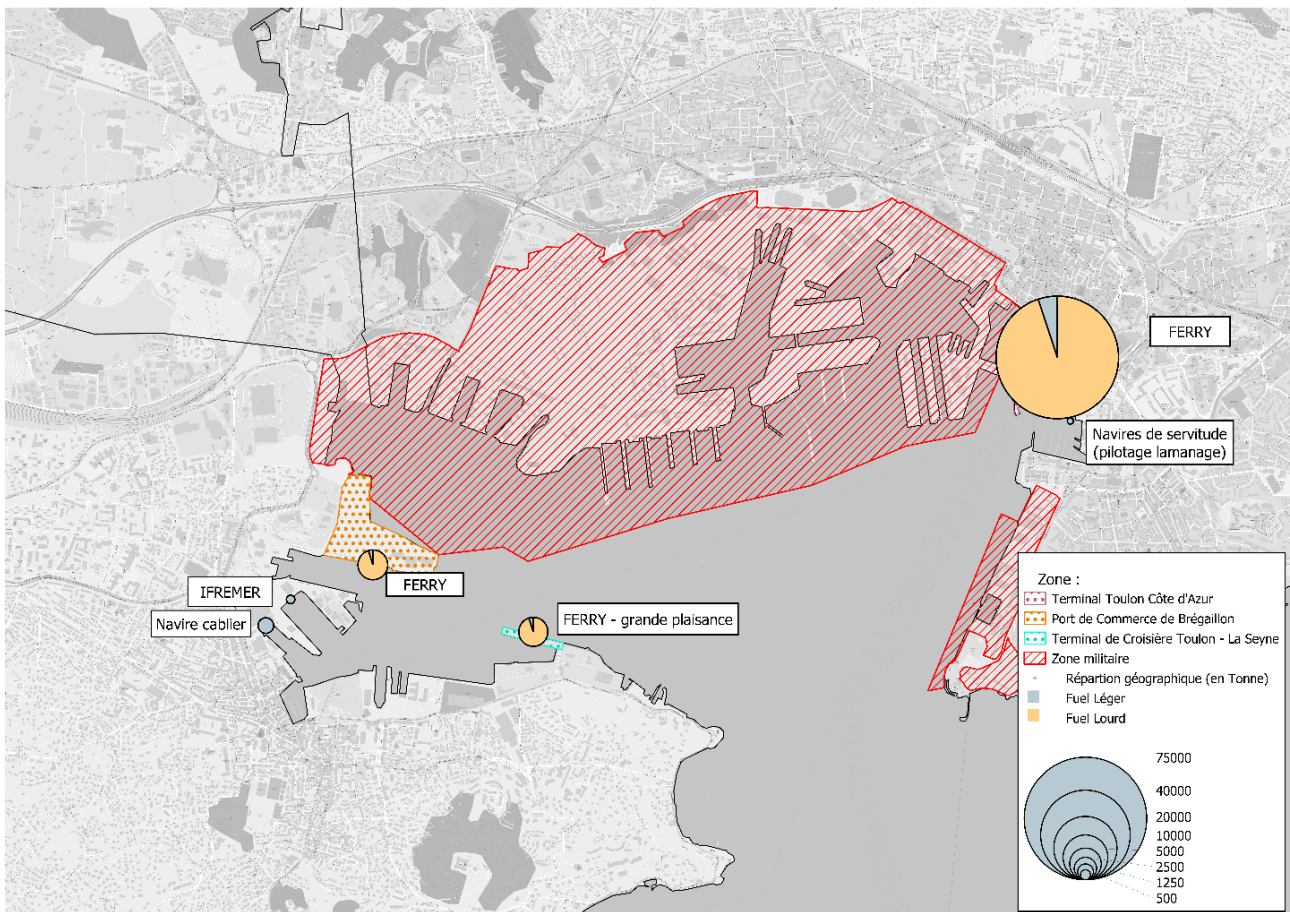


Figure 31 - Répartition géographique du soutage en 2019

### 1.6.3 Avitaillement en GNL

A ce jour, aucun avitaillement en GNL n'est effectué dans le port de Toulon, mais une étude des risques en cas d'accostage d'un navire fonctionnant au GNL dans le port est en cours, comme l'exige le code de l'environnement.

Dans le cadre d'un avitaillement en GNL et d'un éventuel stockage dans le port de Toulon, il sera nécessaire de se référer à cette étude afin de prendre en compte les risques supplémentaires encourus ainsi que les interactions avec les autres installations du port, notamment l'ICPE. Ces risques devront être évalués sur la base du rayon de danger (étendue des dommages) et de la probabilité de réalisation des scénarios analysés.

Outre les exigences européennes, la Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR) a examiné la question des normes et des lois à appliquer aux différents types

d'installations de GNL. Une note consacrée au soutage des navires au GNL<sup>13</sup> propose une analyse du cadre réglementaire pour ce type d'installations.

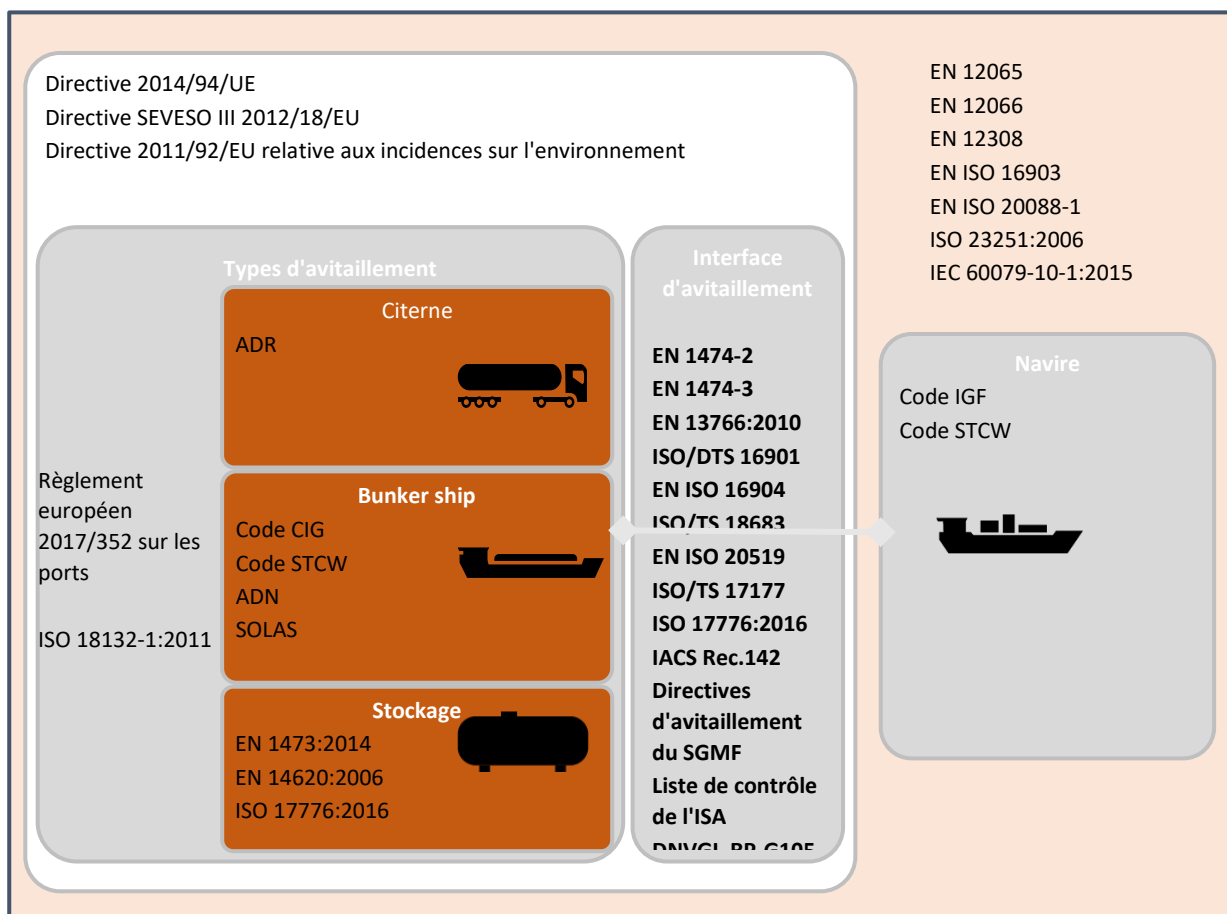


Figure 32 - Schéma des normes européennes pour une infrastructure GNL

En particulier, on affirme ce qui suit:

- Tout objet flottant et en état de naviguer est soumis à la réglementation internationale de l'OMI.
- L'utilisation et les inspections sont soumises à la vérification de la conformité par les autorités maritimes. Dans ce contexte, le navire lui-même ne constitue pas une installation ICPE.
- Tous les allèges sans équipage permanent ni moyen de propulsion doivent avoir un dossier ICPE.

<sup>13</sup> Direction Générale de la Prévention des Risques. (2014) Note relative à la réglementation applicable aux installations pour l'avitaillement des navires en GNL



- Les FSU qui peuvent être ancrées au large sont soumises à un examen au cas par cas.
- Tout dépôt de stockage terrestre doit respecter les normes relatives aux ICPE avec les études de risques nécessaires et l'intégration dans le Plan de Prévention du Risque Technologique (PPRT).
- Les camions-citernes doivent être conformes à la réglementation du transport routier.

En conséquence, seules les solutions d'avitaillement utilisant les moyens listés ci-dessous seront des installations ICPE pour lesquelles un dossier d'enregistrement ou d'autorisation devra être déposé en fonction des capacités mises en œuvre :

- Bateau ancré sans équipage ni propulsion ;
- Unité de stockage flottante (FSU) ;
- Dépôt de stockage au sol.

D'autres moyens d'avitaillement seront examinés lors de la révision de l'étude de risque du port.

#### 1.6.4 Réglementation portuaire

Le transit et la manutention des marchandises dangereuses dans les ports sont soumis au Règlement pour le transport et la manutention des marchandises dangereuses dans les ports (RPM). Pour Toulon, la réglementation RPM est mise en œuvre par le Règlement local pour le transport et la manutention des marchandises dangereuses (RLMD), qui tient compte des spécificités du port.

Le port de commerce de Toulon-La Seyne est également soumis à un règlement particulier de police édicté par l'arrêté préfectoral n° 2017-104.

Dans le cadre des opérations de soutage du GNL, il est nécessaire de prendre en compte les réglementations susmentionnées, et notamment les points suivants :

- Listes de contrôle pour le soutage par les pétroliers et les navires, basées sur les recommandations de l'IAPH<sup>14</sup>. Ces listes de contrôle devraient être disponibles dans le règlement du port.
- Chaque opérateur doit être autorisé par l'autorité portuaire.

---

<sup>14</sup> Liste de contrôle IAPH - Liste de contrôle par: Truck-to-Ship, Ship-to-Ship, Port-to-Ship

### 1.6.5 Volumes de GNL prévus

Sur la base de la documentation produite dans SIGNAL<sup>15</sup>, les projections suivantes pour les 10 prochaines années ont été extrapolées:

- Scénario pessimiste: la consommation de GNL serait limitée aux navires déjà commandés, sans autre développement:
- CMA CGM: 9 porte-conteneurs (9x30 kt par an) à Marseille;
- Corsica Linea: 1 ferry (~11 kt par an) vers Marseille.

En ce qui concerne les navires de croisière, le soutage aurait lieu à Barcelone plutôt que dans la région sud.

Selon le scénario pessimiste de ces documents, il n'y aura pas de débouchés pour le GNL dans la rade de TOLONE dans les 10 prochaines années.

- Scénario optimiste: la consommation de GNL serait supérieure de 200 kt par an à la consommation de l'année précédente pour Marseille, **Toulon**, Sète et Nice et correspondrait à la consommation de l'année précédente.
- le soutage d'un ferry supplémentaire par an (+11 kt/an<sup>16</sup>);
- avitaillement d'un paquebot supplémentaire tous les 3 ans (+30 kt/an<sup>17</sup>).

La part du port de Toulon ne concernerait qu'une partie des nouveaux ferries GNL de la décennie. Le chapitre suivant détaille l'évolution probable de l'avitaillement en GNL dans la rade de Toulon dans ce scénario.

---

<sup>15</sup>Livrable T 3.5.1 - Définition du modèle de réseau de distribution GNL e Livrable T 3.2.1 - Phase I - Schéma du réseau de distribution et de transport du GNL sur le territoire

<sup>16</sup> 11 kt par an correspondent à environ 24 000 m<sup>3</sup> de GNL par an

<sup>17</sup> 30 kt par an correspondent à environ 65 300 m<sup>3</sup> de GNL par an

## 1.6.6 Les routes du GNL pour la rade de Toulon

L'acheminement du GNL vers la rade de Toulon peut se faire de quatre manières: par voie terrestre, par voie maritime, par voie ferroviaire et par gazoduc.

### 1.6.6.1 Transport Par terre

Le GNL peut être transporté sur le réseau routier depuis le terminal méthanier jusqu'à la rade de Toulon par des camions-citernes, qui peuvent également être utilisés pour le soutage direct des navires ou pour alimenter un dépôt de stockage intermédiaire.

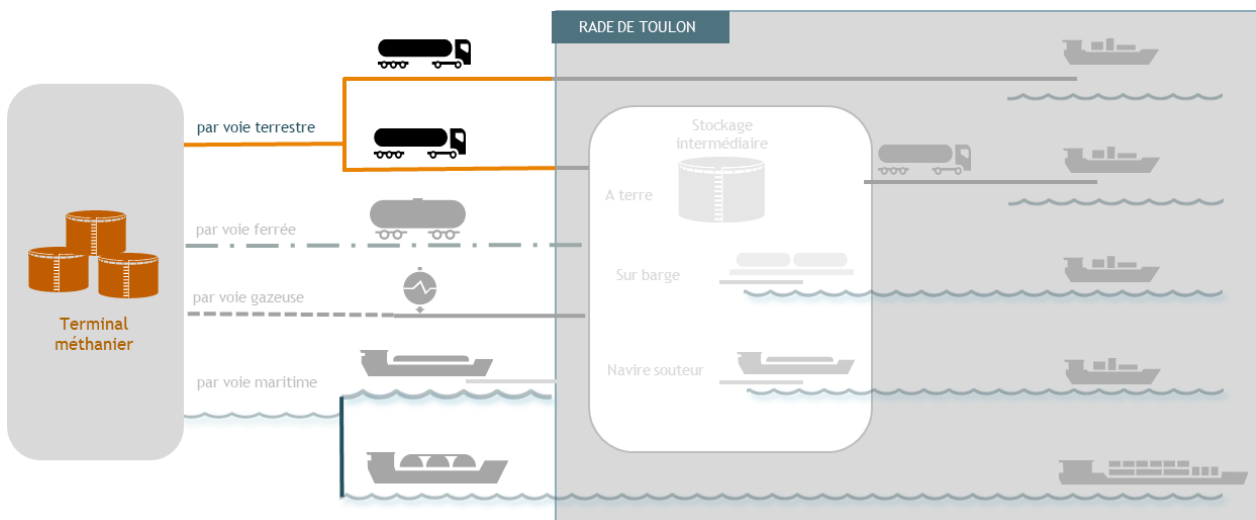


Figure 33 - Architecture de la chaîne d'approvisionnement en GNL à terre

Le transport par route peut se faire par camion-citerne (Figure 34) ou par camion-citerne isotherme standard, également appelé conteneur ISO (Figure 35).

Les pétroliers ont une capacité nominale de 20-30 m<sup>3</sup> et les remorques d'environ 50 m<sup>3</sup> tandis que les conteneurs ISO ont un volume d'environ 20 m<sup>3</sup> pour les modèles 20' et d'environ 43 m<sup>3</sup> pour les modèles 40'.



Figure 34 - Un méthanier et une remorque



Figure 35 - Camions et conteneurs ISO pour le GNL

Les conteneurs ISO permettent, entre autres, de stocker le GNL pour une période maximale d'environ 1,5 mois. Après cette période, la pression maximale admissible du conteneur est atteinte en raison de l'évaporation naturelle du GNL.

Les conteneurs ISO peuvent être stockés au port de Brégaillon, puis transportés, si possible, par camion ou par paquebot jusqu'au point de livraison du GNL.

Les itinéraires routiers ne sont disponibles qu'à partir des terminaux de Fos Tonkin et de Fos Cavaou via Aix-en-Provence au nord, car le tunnel L2 de la Rocade (A507) est fermé aux véhicules transportant des marchandises dangereuses.

Toutefois, le trajet depuis Panigallia (Italie) n'est pas possible en raison de l'interdiction du transit de marchandises dangereuses sur l'autoroute A8 entre la sortie Antibes et la frontière italienne et dans les tunnels du Mont Blanc, de Fourvière et du Fréjus.



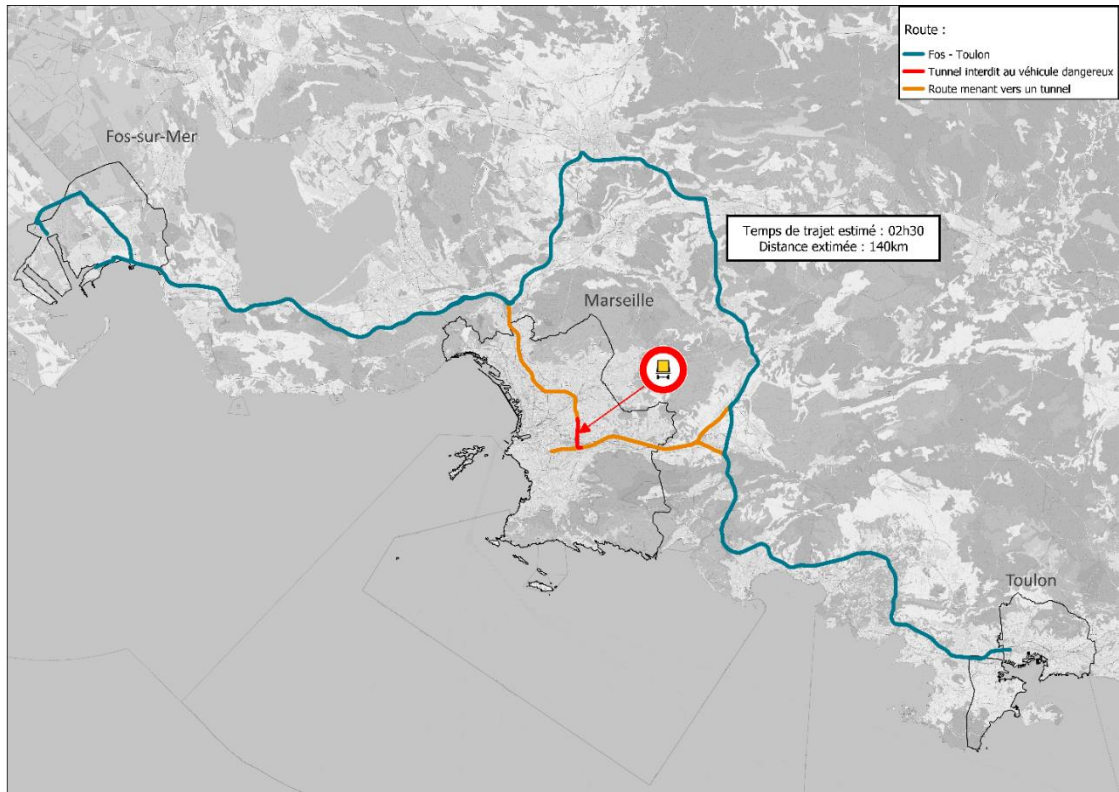


Figure 36- Itinéraire routier de Fos Cavaou/Fos Tonkin à la rade de Toulon

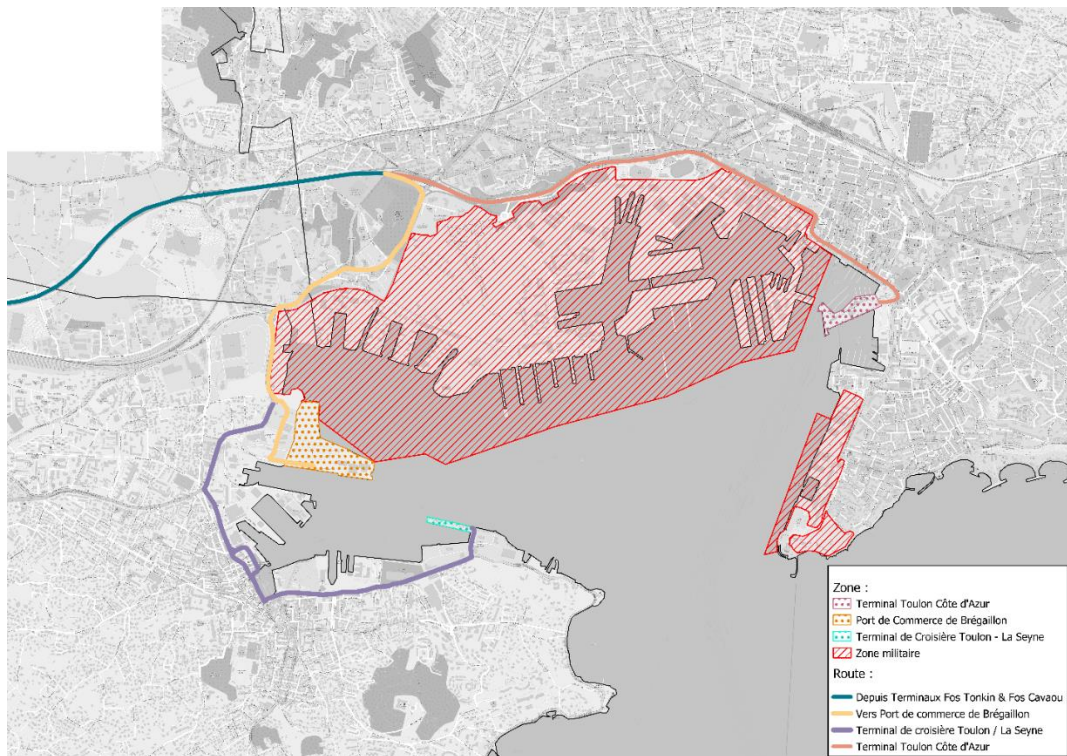


Figure 37- Réseau routier dans la rade de Toulon



### 1.6.6.2 Transport par voie maritime

Toulon peut être approvisionnée par voie maritime à partir des terminaux de Fos par des méthaniers ou par des navires à avitaillement direct.

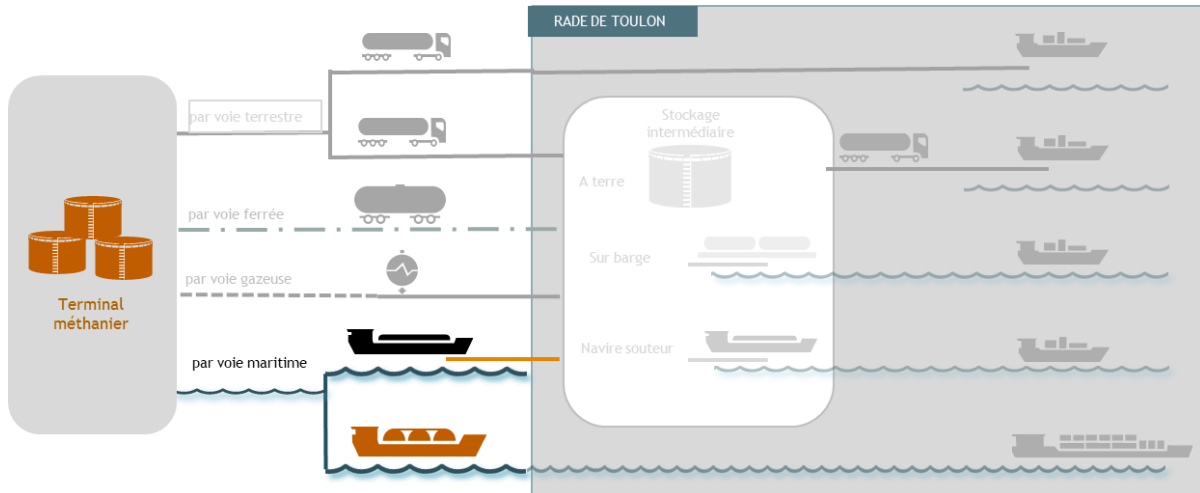


Figure 38- Architecture de la chaîne d'approvisionnement en GNL par voie maritime

Les petits méthaniers ont une capacité de 20 000 m<sup>3</sup> et nécessitent une infrastructure de déchargement avec un stockage, typiquement à terre, qui est utilisé pour des volumes plutôt importants.

Les soutes offshore sont des transporteurs de GNL de capacité réduite et permettent notamment de transférer la cargaison directement à bord des navires. Voici une liste de quelques navires bunker existants:

	Cardissa*	Coralius	ENGIEZeebrugge	Coral Méthane	Agilité du gaz
Opérateurs	Shell	Gasum	Engie/GDF Suez	Anthony Verder	GOP pour Total
Capacité de stockage en m <sup>3</sup>	6500	5800	5000	7500	18600
Longueur en m	120	100	107,6	117,8	135,5
Largeur en m	20	18	18,4	18,6	24
Tirant d'eau en m	5,5	5,7	5	6	6,7

Tableau 15- Données techniques des principaux navires de soutage



Figure 39- Exemples de navires de soutage offshore

Certains de ces navires ont un contrat d'approvisionnement avec un armateur spécifique. C'est le cas, par exemple, des navires de soutage pour les porte-conteneurs de la CMA CGM. Les navires de soutage sont affrétés par Total Marine Fuel Global Solutions (TMFGS) et en vertu d'un affrètement à long terme de Mitsui O.S.K. Lines Ltd. (MOL).

La connexion peut être effectuée soit à partir des terminaux de Fos Tonkin et FOS Cavaou (France), soit à partir du terminal de Panigaglia (Italie).

La durée du voyage depuis le golfe de Fos est d'environ 5 heures et 30 minutes de navigation (75 milles nautiques). En revanche, le temps de parcours depuis le golfe de Panigaglia est de 27 heures de navigation (370 milles nautiques).

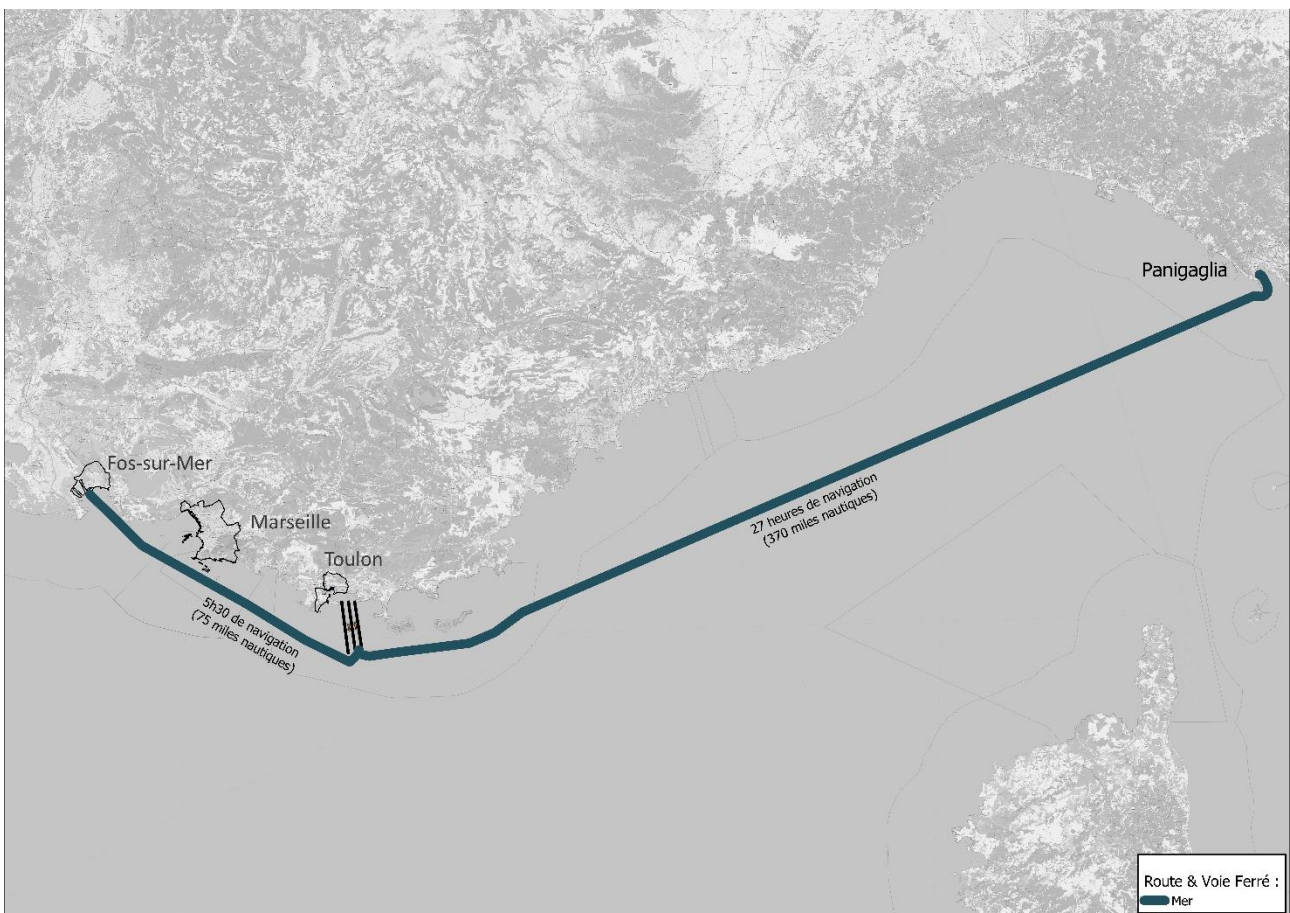


Figure 40- Itinéraire maritime du Golfe de Fos/Panigaglia à la rade de Toulon

### 1.6.6.3 Transport par rail

Le transport de GNL par rail peut s'effectuer dans des wagons spéciaux équipés de réservoirs cryogéniques ou dans des conteneurs ISO sur des wagons de marchandises standard.

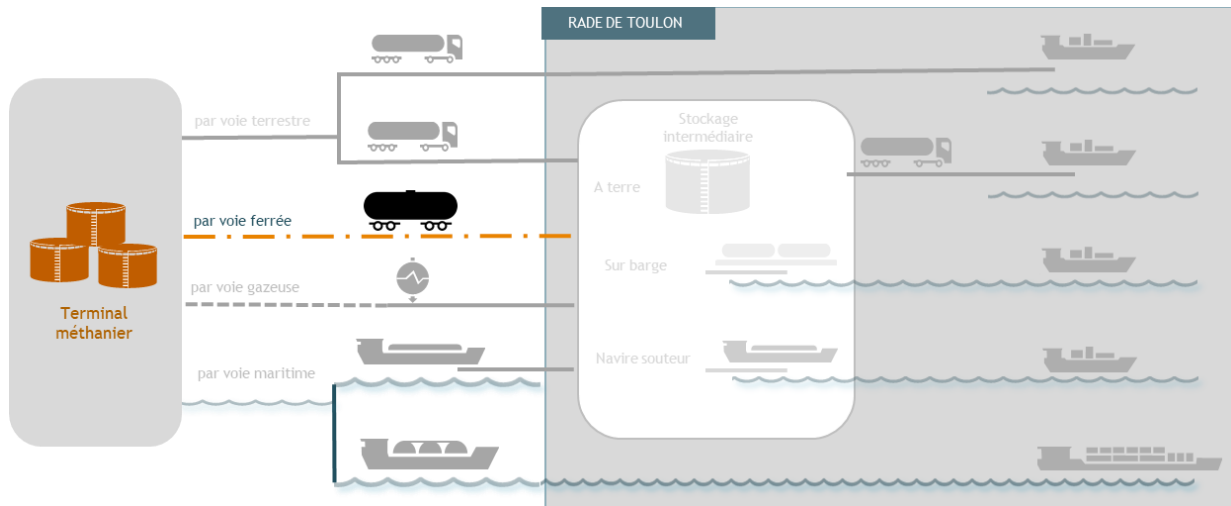


Figure 41- Architecture de la chaîne d'approvisionnement en GNL par rail

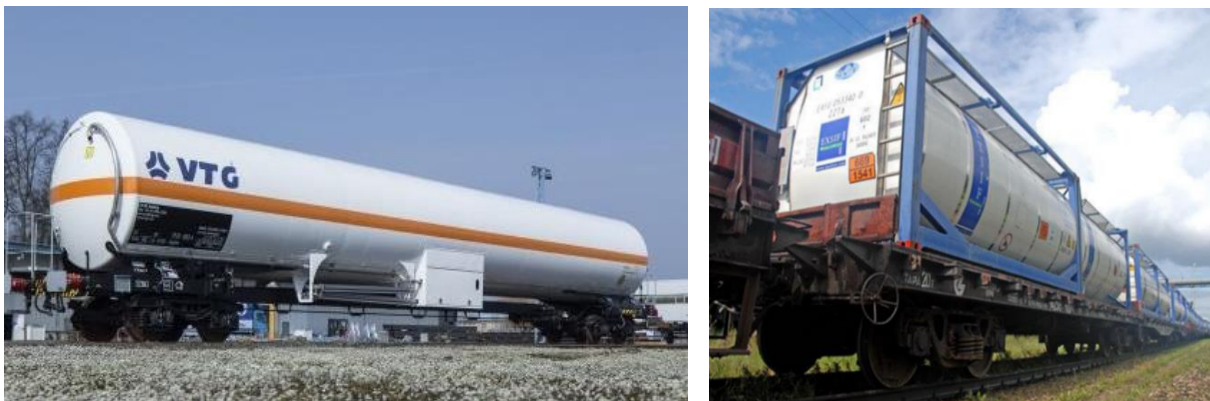


Figure 42- Exemple de transport de GNL par rail: wagon-citerne ou conteneur ISO

Les conteneurs ISO cryogéniques sur des wagons de marchandises standard sont préférés pour le transport du GNL car ils sont plus pratiques pour transférer le GNL du train à un camion. En revanche, c'est le mode actuellement adopté au terminal de Fos TONKIN.

Un convoi complet peut transporter environ 1 800 m<sup>3</sup> de GNL (environ 40 conteneurs ISO sur un convoi de 500 m).

Bien qu'il n'y ait pas de voies pour un accès direct aux terminaux de Fos Tonkin et de Cavaou au terminal de FOS Tonkin, ELENGY peut utiliser les quais de chargement des camions pour ensuite mettre les conteneurs ISO sur le rail. La cadence standard est d'un



convoi par semaine. L'un des avantages du transport par conteneurs ISO est qu'il peut utiliser les plateformes multimodales déjà en place.

A Toulon, en revanche, la restauration de la liaison ferroviaire avec le terminal de Brégaillon (port de commerce de Toulon-La Seyne-sur-Mer) est en cours, la reprise du service étant prévue pour l'été 2021.

Au port commercial de Brégaillon, des conteneurs ISO pour le GNL pourraient approvisionner les navires commerciaux qui y accostent, tels que les rouliers, les ro-pax ou les ferries.



Figure 43- Liaison ferroviaire entre Fos Cavaou/Fos Tonkin et la rade de Toulon

#### 1.6.6.4 Transport par canalisation

Dans ce cas, le réseau de distribution du gaz naturel est utilisé, avec l'ajout d'une unité de liquéfaction pour le réduire à l'état liquide. Le gaz naturel pourrait provenir d'unités de méthanisation pour la valorisation de la matière organique.

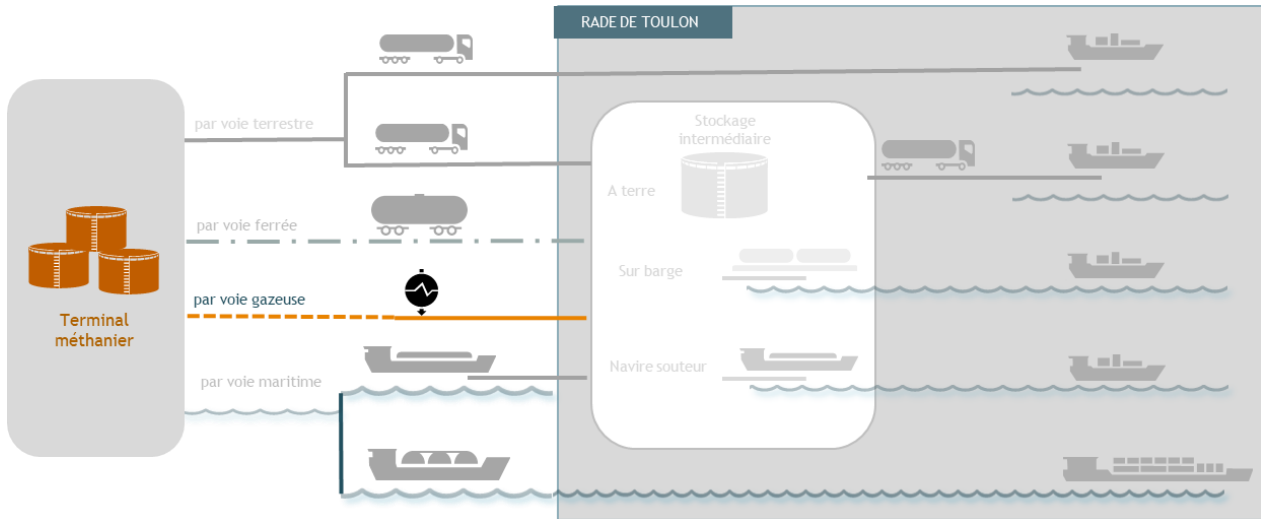


Figure 44- Architecture de la chaîne d'approvisionnement en GNL via le gazoduc



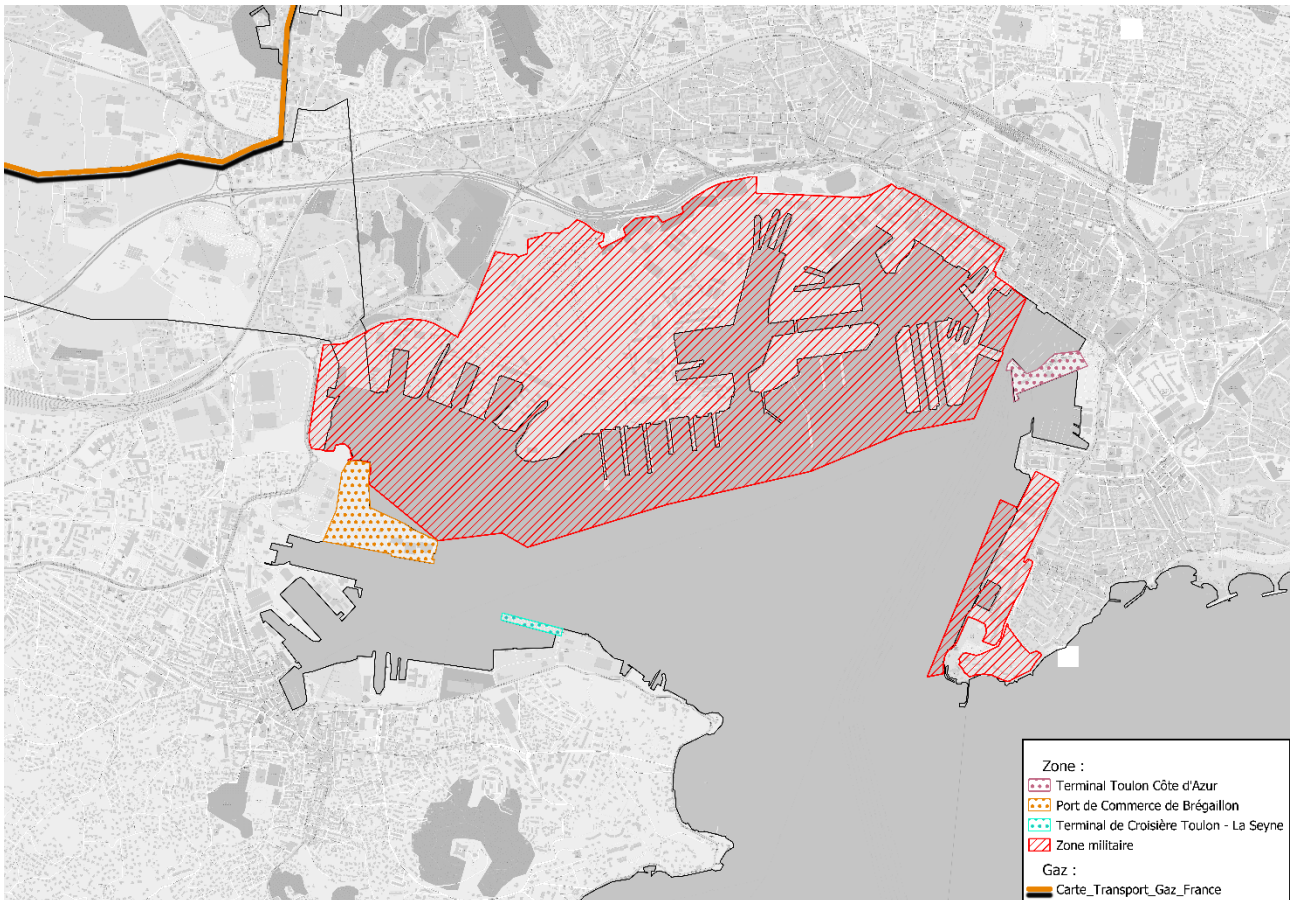


Figure 45- Réseau de distribution de gaz

Les unités de liquéfaction de petite ou moyenne taille amènent le gaz naturel à l'état liquide grâce à divers processus d'échange de chaleur. La capacité de liquéfaction varie:

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

Ces installations comprennent les unités principales suivantes:

- Prétraitement des gaz
- Liquéfaction
- Le stockage du GNL.

L'empreinte foncière de la seule unité de liquéfaction est d'environ 1 000 m<sup>2</sup>, ce qui est assez important. Cela est dû en partie au tétrahydrothiophène, la substance utilisée pour odoriser le gaz, qui empêche sa liquéfaction dans le réseau de distribution urbain. L'utilisation de biogaz ne nécessite pas cette unité de traitement, mais les volumes sont bien

inférieurs aux besoins en carburant marin. En outre, la capacité de stockage doit être prise en compte.

Le coût d'une usine de liquéfaction d'une capacité de 165 tonnes (**360 m<sup>3</sup>**) par jour est d'environ 17 millions d'euros (hors travaux de génie civil et études de sol).

L'ordre de grandeur pour les unités terrestres est de **5,5 millions d'euros** pour une production de 90 tonnes (**200 m<sup>3</sup>**) par jour.

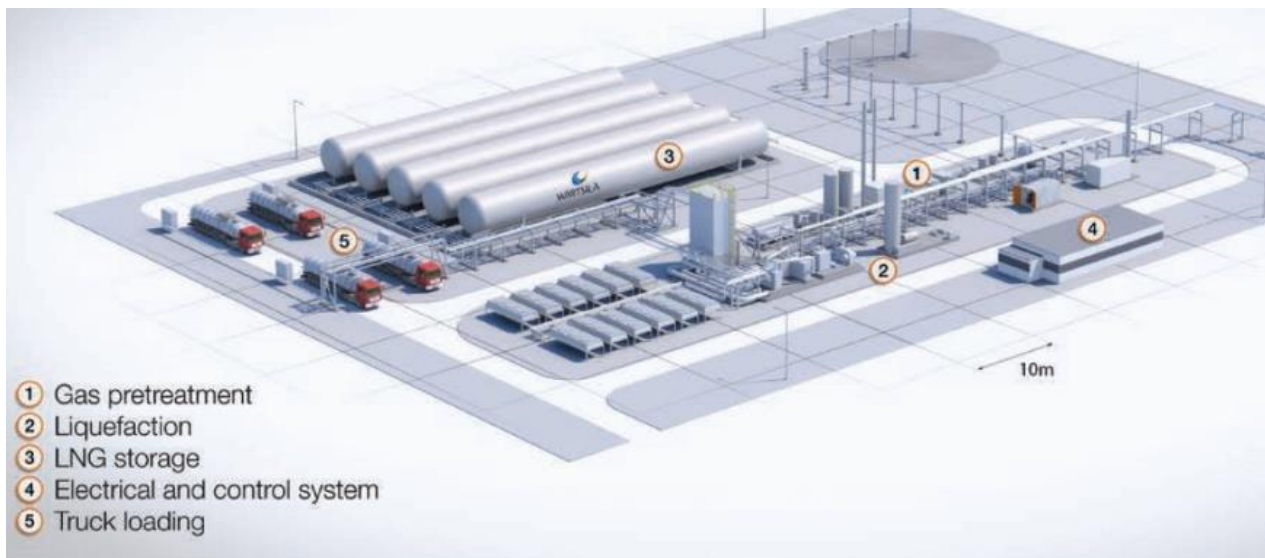


Figure 46- Unité de liquéfaction

#### 1.6.6.5 Stockage intermédiaire

Le stockage intermédiaire vous permet de:

- Assurer un approvisionnement constant lors de tout pic de demande;
- Améliorer la logistique d'approvisionnement;
- Surmonter les contraintes d'approvisionnement des terminaux GNL. La disponibilité continue du GNL est un défi stratégique et commercial;
- Étendre l'influence logistique au-delà de la zone portuaire, en permettant l'approvisionnement en GNL d'autres marchés de sortie.

Il existe deux catégories de stockage intermédiaire pour lesquelles il existe des solutions terrestres et flottantes:

- Petites installations d'une capacité allant jusqu'à 5 000 m<sup>3</sup>;
- Grandes installations avec des capacités allant de 20 000 m<sup>3</sup> à 150 000 m<sup>3</sup>.

### **Plantes de petite taille**

Le principal avantage est l'adaptabilité aux exigences. Le volume peut être adapté avec plusieurs petites plantes.

Ce type de stockage intermédiaire peut être fourni par différents moyens: pétrolier, allèges, navire souteur, usine de micro-liquéfaction ou train.

Le dépôt de stockage peut être terrestre ou flottant.

Le **stockage terrestre** est utilisé dans les cas où le camion-citerne est le principal moyen d'avitaillement. Cela implique la disponibilité et l'adaptation d'une réserve foncière. Par exemple, le site de soutage de GNL de Klaipėdà, en Lituanie, occupe 6 000 m<sup>2</sup> pour 5 réservoirs sphériques horizontaux de 1 000 m<sup>3</sup>. Les réservoirs de stockage peuvent être de forme sphérique ou cylindrique; les réservoirs **sphériques** sont installés verticalement pour un faible encombrement, les réservoirs **cylindriques** sont installés horizontalement pour une moindre résistance au vent.



Figure 47- Stockage intermédiaire sur des terrains de petite taille

Il existe plusieurs tailles de réservoirs sous pression sphériques: les dimensions varient en fonction des exigences finales. Le tableau suivant énumère les différentes tailles disponibles sur le marché:

	320 m <sup>3</sup>	500 m <sup>3</sup>	1.000 m <sup>3</sup>
Poids - Net	71 t	100 t	218 t
Longueur	30 m	45 m	50 m
Diamètre	4 m	4,5 m	6 m
Installation	Vertical	Horizontal	Horizontal

Tableau 16- Tailles typiques des appareils à pression sphériques

Il existe également des réservoirs de plus petite taille, principalement utilisés pour les stations GNV, mais ils ne sont pas pertinents pour les volumes requis pour la chaîne d'approvisionnement en GNL comme carburant marin.

D'un point de vue économique, le coût de cette infrastructure s'ajoute aux coûts du transfert direct du terminal méthanier au navire amarré.

Cette solution s'avère avantageuse dans la mesure où elle garantit l'autonomie et la disponibilité de l'approvisionnement en GNL, sans les difficultés de ravitaillement des terminaux méthaniers et avec la possibilité de satisfaire les demandes urgentes.

Certains armateurs peuvent être intéressés par un accès privilégié à une source de GNL en cas de difficultés dans leur port d'approvisionnement préféré. Dans un contexte où l'utilisation du GNL pour le ravitaillement des navires n'en est qu'à ses débuts, le stockage intermédiaire pourrait améliorer l'offre de services portuaires et permettre une croissance future de la capacité.

Une autre utilisation possible est le stockage temporaire de conteneurs ISO. En fait, comme nous l'avons déjà mentionné, ces derniers sont conçus pour permettre le stockage de GNL pendant un mois environ et peuvent être empilés pour réduire le volume. Cette méthode permet également d'ajuster le volume de stockage en fonction de la demande.

Le **stockage intermédiaire** dédié est une solution pour un **groupe de navires de même type**: mêmes volumes à fournir, même emplacement du point de connexion. La cuve sphérique est installée sur le quai, le raccordement est conçu pour un type de navire, le volume de stockage est dimensionné pour ce groupe de navires et équivaut à plusieurs pétroliers de 300 m<sup>3</sup> à 500 m<sup>3</sup>.

L'usine doit être située à proximité du navire à ravitailler afin de limiter/réduire la longueur des tuyaux et donc les coûts de refroidissement et d'inertage associés.





Figure 48 - Installation de soutage avec réservoir de stockage fixe (Port de Hirtshals, Danemark, pour Fjord Line)

Le principal avantage de cette solution est d'**éviter que les camions ne passent sur le quai** lorsque d'autres opérations sont en cours. Il s'agit donc d'une solution intéressante en termes de **sécurité** pour les navires à passagers lors de l'embarquement et du débarquement. Dans l'exemple de la Figure 48, la passerelle de débarquement à terre est étanche pour protéger les passagers d'un dégagement accidentel de gaz.

Les installations de soutage sont spécifiques aux navires. Comme l'installation est fixe, la flexibilité opérationnelle est limitée.

Par ailleurs, l'aspect réglementaire du stockage du GNL, les ICPE et l'étude des risques devront être pris en compte.

Le **stockage flottant** est principalement utilisé avec les navires de soutage et comprend plusieurs systèmes décrits et réglementés par les codes maritimes internationaux, tels que le code international du gaz (IGC) et le code IGF, qui régit la conception des navires alimentés au GNL.

Les systèmes sont divisés en deux catégories:

- réservoirs de type C
- réservoirs de type B et A
- réservoirs à membrane.



Les **citernes de type C** sont l'équivalent maritime des citernes *terrestres* **sphériques ou cylindriques**. Ils ont une forme cylindrique ou parallélépipédique. Ils peuvent être isolés thermiquement par une ou plusieurs techniques combinées telles que le vide, la perlite, le polyuréthane, le polystyrène, etc.

La principale caractéristique opérationnelle du stockage de type C est sa capacité à supporter des pressions élevées, ce qui apporte souplesse et facilité dans la gestion des stocks de GNL, stockés à  $-163^{\circ}\text{C}$ .

Les réservoirs de type C sont généralement installés horizontalement dans la coque ou sur le pont extérieur.

Les **réservoirs de type B et A** sont construits sur mesure pour être placés dans la coque, mais n'ont pas la même résistance à la pression que le type C (pression de conception  $\leq 0,7$  barg). Leur construction est plus confidentielle et réduite en termes de chantiers et

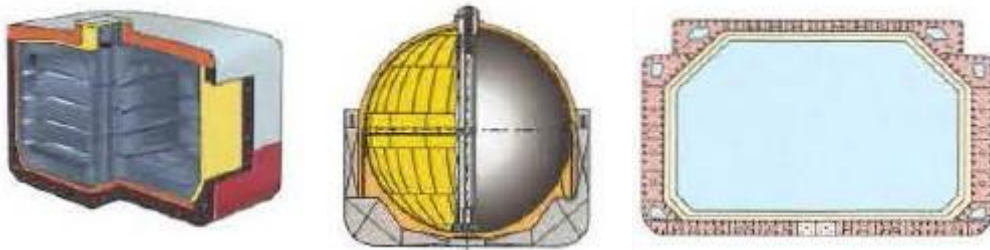


Figure 49 - Réservoirs de type B: réservoirs prismatiques, sphériques et à membrane

d'usines.

Ces réservoirs sont adaptés à des volumes supérieurs à  $5\,000\text{ m}^3$ .

### Il existe différents types d'unités flottantes:

- amarré au quai et déplacé périodiquement par remorqueur;
- autopropulsé;
- ancré au large ou au port.

**Unité flottante amarrée au quai.** Il reste amarré la plupart du temps. Un remorqueur ou un pousseur est utilisé pour le déplacer et l'accoupler. C'est pourquoi l'arrière de certains briquets est adapté à l'avant d'un remorqueur/pousseur. Les dimensions du revêtement sont adaptées à une utilisation dans un plan d'eau protégé.

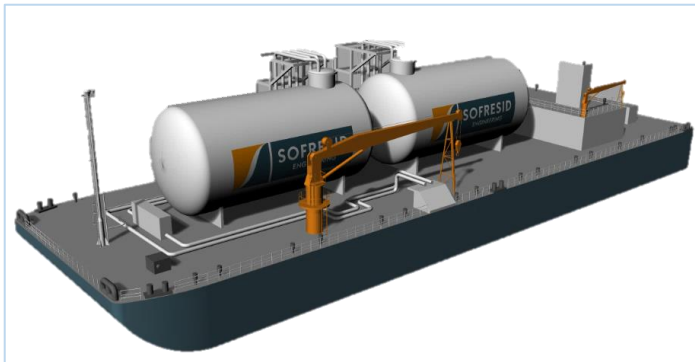


Figure 50- Petit stockage flottant, exemple de conception préliminaire d'une barge de soudage

Ce type d'unité est considéré et classé comme un barge de transport, car il n'a pas de tracteur,

- éliminant toute la complexité liée à la présence de moteurs, d'appendices et de systèmes connexes.
- Les quartiers de l'équipage ne sont plus nécessaires.
- Les coûts de maintenance sont réduits.
- Les frais d'équipage sont réduits car il faut moins de personnel et moins de personnel qualifié.
- Le coût initial est réduit.

Extrêmement simples à concevoir, ces unités peuvent être déployées très rapidement et impliquent un endettement très faible.

Le stockage temporaire de conteneurs ISO est également possible sur un navire méthanier ou un quai.

**Unité autopropulsée.** Ce n'est rien de plus qu'un navire de bunker. Ce type permet à l'opérateur de prendre de grandes quantités de GNL dans de grands ports, puis de les transférer à divers endroits.

Ce type de navire nécessite un investissement important et un engagement de volume/durée de la part de plusieurs investisseurs. Les négociations peuvent être complexes pour optimiser le financement.

Dans toutes les variantes qui viennent d'être décrites, l'unité flottante ne sera pas disponible pour d'autres déploiements au moment où elle sera engagée dans des opérations de soudage.

**Unité flottante ancrée.** Il s'agit d'une variante de la barge, à la différence qu'elle est toujours ancrée au port ou au large. Dans ce cas, on parle d'unité de stockage flottante (FSU). Bien que concevable dans une petite taille, cette unité est adoptée pour des capacités de stockage supérieures à 5 000 m<sup>3</sup> et entre donc dans la catégorie des installations à grande échelle (voir ci-dessous pour plus d'informations sur les FSU à grande échelle).



Figure 51- Photo du navire-citerne ENGIE Zeebrugge

## **Grandes installations avec des capacités supérieures à 15 000 m<sup>3</sup>**

Les installations à grande échelle offrent une autonomie considérable et sont destinées à la consommation locale.

- **Stockage en surface:** L'installation de stockage est surtout utilisée pour des capacités de stockage supérieures à 15 000 m<sup>3</sup> et plus typiquement autour de 150 000 m<sup>3</sup>. Cette installation a une grande emprise au sol car, en plus du réservoir, elle nécessite des systèmes de rétention pour les fuites éventuelles et une unité de reliquéfaction des vapeurs. Le terminal GNL de Tornio, en Finlande, occupe 12 000 m<sup>2</sup> pour une barge de 50 000 m<sup>3</sup>.

Une telle **installation est classée ICPE** et nécessite, outre les études de risques et le plan de prévention correspondant, des procédures administratives spécifiques et des enquêtes publiques qui peuvent être longues et aléatoires. Dans le cas du port de Toulon, l'intégration d'une telle installation pourrait être réalisée dans une zone où des plans de prévention existent déjà. L'effet domino qu'il pourrait avoir sur les installations existantes devra être pris en compte.

- **L'unité flottante de stockage ou FSU** est une installation assez simple dont la fonction principale est de stocker de grands volumes de GNL et d'être équipée de moyens de transfert. Le FSU est ancré de façon permanente, il n'occupe donc que peu ou pas d'espace et peut être transféré ailleurs une fois la période contractuelle terminée.

Il peut être situé à une distance appropriée des effets d'un éventuel accident, ce qui n'est pas possible pour une installation située au milieu de la ville. A l'inverse, les transferts sont très dépendants des conditions météorologiques, tout comme l'accès à certains navires ou barges.



Figure 52- Unité flottante ancrée - FSU

Un FSU, s'il est équipé d'un système de reliquéfaction, peut conserver la cargaison jusqu'à environ 3 mois. Dans ce cas, le besoin de stockage doit être lié à une consommation locale

annuelle d'au moins quatre fois le volume de charge pendant une période d'exploitation suffisamment longue, au moins 15 ans, pour justifier l'investissement.

L'installation d'un FSU dans le port est peu probable en raison des risques possibles et doit être justifiée par une étude détaillée. Il devrait être accessible aux navires de soute qui ne peuvent pas aller en haute mer.

### **1.6.7 Considérations sommaires sur les différents types de transport**

Les itinéraires via les réseaux routier et ferroviaire sont techniquement réalisables. Pour des volumes de 1 000 m<sup>3</sup>, 20 camions-citernes sont nécessaires, qui peuvent circuler sur le réseau routier.

Les conteneurs ISO peuvent être transportés par voie ferroviaire du terminal FOS Tonkin à Brégaillon en utilisant les plateformes multimodales déjà en place dans la région. Cependant, étant donné que la demande de GNL pour les ferries se fait principalement au terminal de TCA, il faut ajouter un maillon à la chaîne logistique de transport pour acheminer le GNL de Brégaillon à TCA (voir le chapitre 1.6.8.1 et augmenter la manutention).

Le tracé du gazoduc n'est pas réalisable en raison des risques dans la zone urbaine et de la distance jusqu'au point de ravitaillement principal. En fait, le seul endroit disponible pour une unité de liquéfaction est Brégaillon, mais il est loin du principal point de demande de ferries de TCA.

La voie maritime à partir de FOS est une alternative appropriée et complémentaire au soutage qui ne peut être effectué avec des pétroliers. Cette solution permet de s'adapter facilement à une augmentation de la demande de GNL dans la rade de TOLONE en augmentant la fréquence des voyages des navires de soutage depuis FOS.

### **1.6.8 Transport dans la rade**

#### *1.6.8.1 Transport routier*

Le transport routier du GNL jusqu'au navire à approvisionner en rade de Toulon peut s'effectuer soit directement depuis le terminal d'approvisionnement, soit depuis un dépôt de stockage intermédiaire.

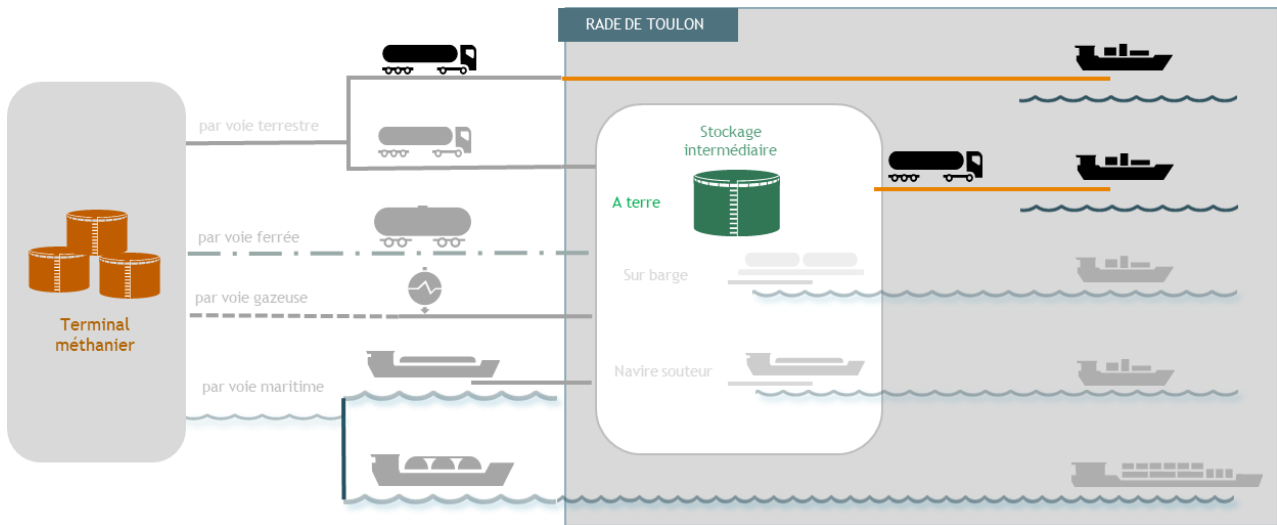


Figure 53- Schéma de transport routier dans la rade

La quantité totale maximale de GNL qui peut raisonnablement être transportée par camion-citerne vers un navire est de 500 m<sup>3</sup>. Pour réduire le temps de ravitaillement, plusieurs camions-citernes peuvent être connectés en même temps, jusqu'à un maximum de 4 véhicules. Cela pourrait être le volume maximal de GNL à envisager pour les ferries, à condition d'augmenter la fréquence de ravitaillement.

En 2019, le soutage des pétroliers a principalement concerné les navires de l'IFREMER et un navire câblé, comme le montre la Figure 54



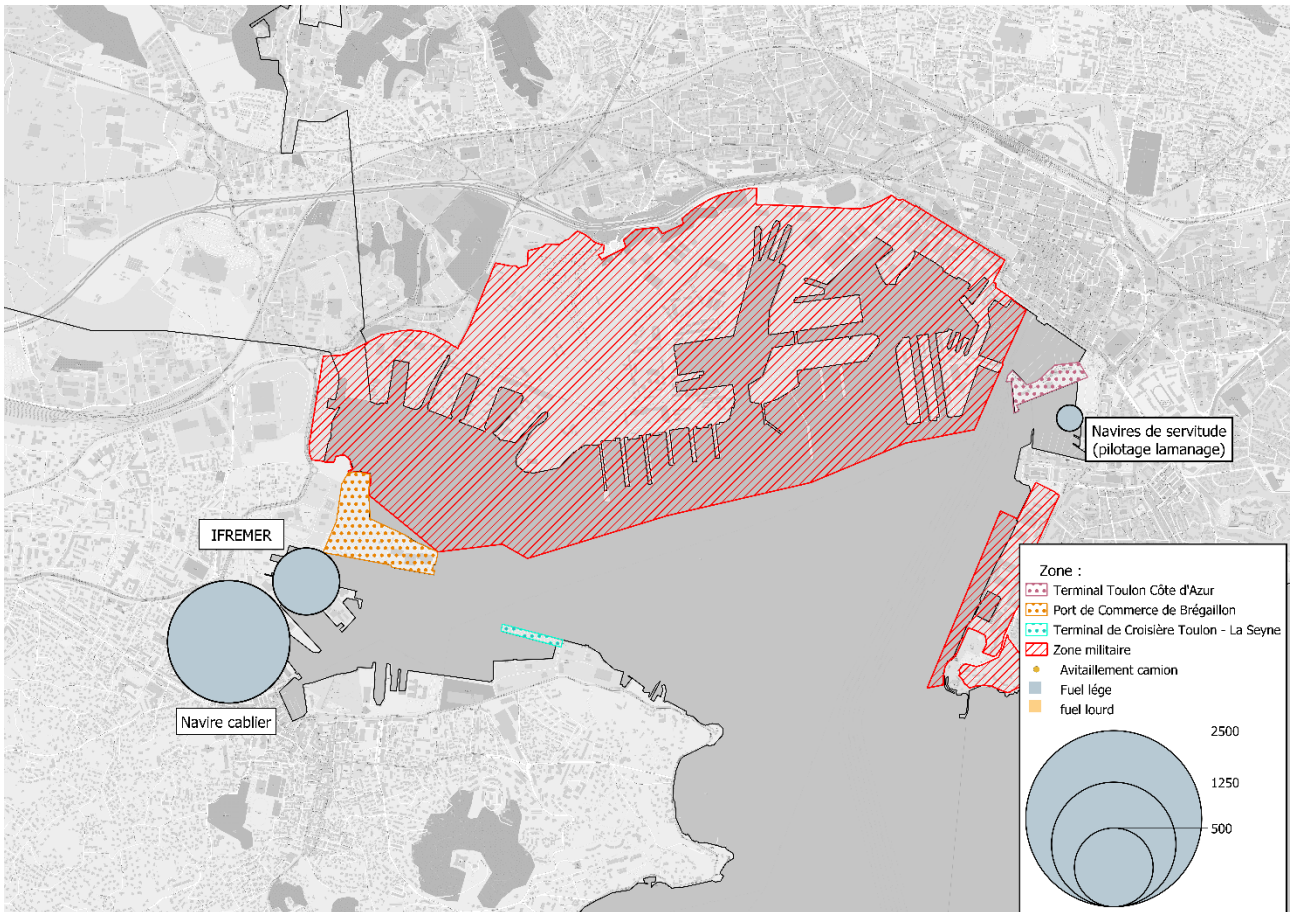


Figure 54 - Avitaillement par camion-citerne en 2019

Les camions-citernes utilisés pour l'avitaillement direct des navires sont équipés en standard d'un système de pompage qui permet de vider une citerne ou un conteneur ISO à un débit de 60 m<sup>3</sup>/h, soit une opération qui prend un peu plus d'une heure (40 minutes pour vider la citerne + 20 minutes pour les manœuvres, le raccordement des tuyaux, etc.)

Le soutage s'effectue en connectant directement le tuyau de transfert flexible du pétrolier au navire à avitailler. Le volume à bunkériser est généralement supérieur à la capacité d'un camion-citerne. Ainsi, en fonction des contraintes de temps et de disponibilité du quai, soit les camions-citernes se succèdent,



Figure 55 - Ravitaillement en GNL d'un paquebot, mai 2016

soit il existe un skid pour décharger plusieurs camions-citernes en même temps et atteindre ainsi le volume souhaité.



Figure 56- Évolution des systèmes de soutage en mode TTS

Les solutions modulaires permettent de connecter de 2 à 6 camions-citernes. De cette façon, il est possible d'augmenter le débit de la transaction à 240 m<sup>3</sup>/h et, par conséquent, le volume transféré dans un intervalle de temps donné. Le module peut être fixé sur le quai ou mobile selon les besoins.

Cependant, au-delà de 4 camions-citernes (200 m<sup>3</sup>), le nombre de personnes nécessaires dans la zone devient excessif ainsi que les vapeurs de gaz générées.

Les conteneurs ISO présentent l'avantage de pouvoir être stockés, éventuellement au port de Brégaillon, puis transportés par route jusqu'au point de livraison du GNL.

Une autre solution consiste à placer des conteneurs ISO à bord des navires et à les raccorder directement au système d'alimentation en carburant. C'est ainsi que le ferry HONFLEUR de Brittany Ferries a été conçu (Figure 57).

Le ferry est spécifiquement équipé d'une grue pour hisser les conteneurs ISO de GNL à bord et alimenter ainsi le réservoir principal fixe. Deux fois par semaine, en dehors des zones réservées aux passagers, deux conteneurs ISO pleins sont chargés à bord pour remplacer les conteneurs vides. L'ensemble de l'opération doit être réalisé en moins de 15 minutes.

## LA LIVRAISON DU GNL À BORD DU HONFLEUR

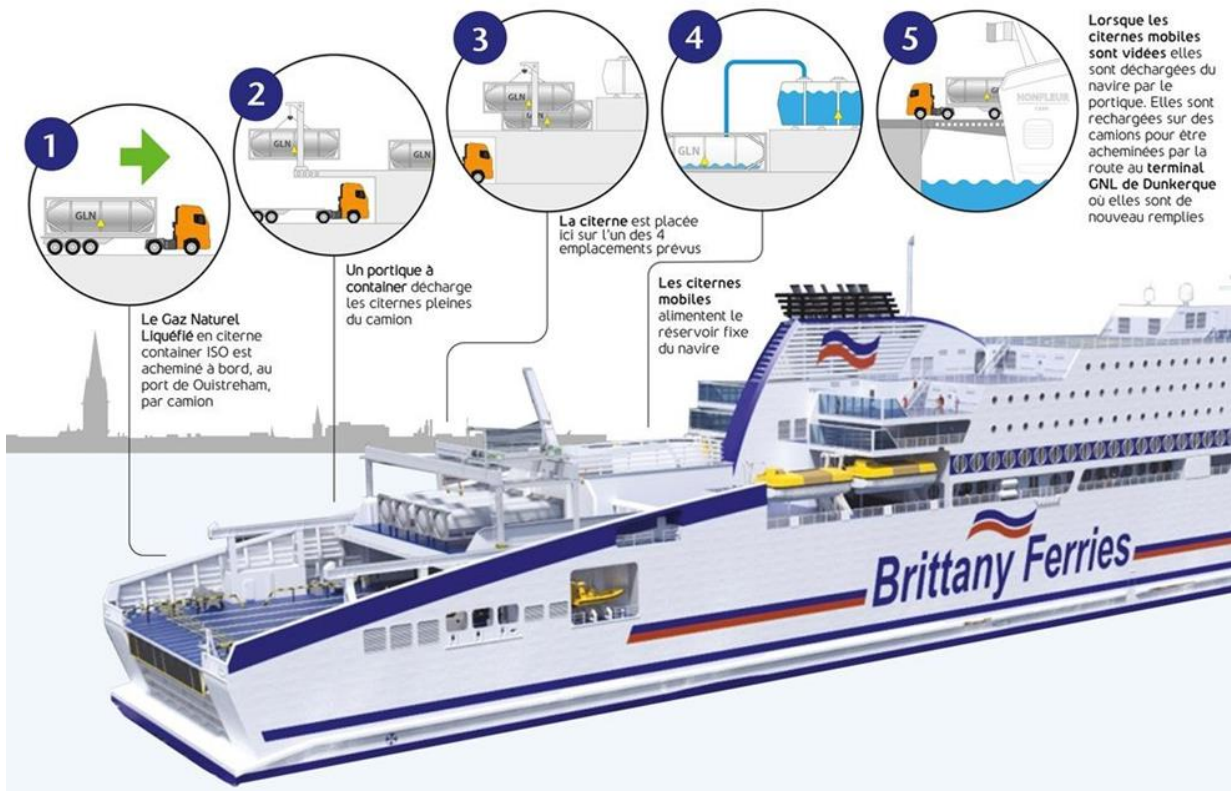


Figure 57 - Aperçu de la livraison de GNL à bord du ferry Honfleur

L'adoption de cette solution dans la rade de TOLONE, en considérant un maximum de 2 conteneurs ISO chargés à chaque avitaillement, nécessite:

- Pendant le pic estival, 3 réapprovisionnements de 2 conteneurs ISO par jour et par ferry.
- Pendant les périodes mortes où un seul ferry est en service, le remplissage d'un conteneur ISO a lieu environ tous les deux jours.

Les limites des volumes traités sont l'élément clé pour le secteur routier. En ce qui concerne le volume maximal d'avitaillement réalisable par camion-citerne (maximum entre 500 et 700 m<sup>3</sup>), les avis sont partagés. Aux fins de la présente analyse, la quantité maximale d'avitaillement par camion-citerne est de 500 m<sup>3</sup>. Il est légèrement inférieur dans le cas du transport par conteneurs ISO.

En outre, le stationnement des camions-citernes pour les opérations de soutage du GNL n'est pas réalisable sur les quais du port de TCA car il implique un trafic important, la fermeture d'une route pendant le soutage et l'interdiction d'accès des camions sur les quais de la zone portuaire.



Les autres quais commerciaux, Brégaillon et Mole Armement à La Seyne-sur-Mer, sont accessibles aux camions. L'adoption d'une telle solution dans ces zones doit encore être étudiée car l'espace disponible sur les quais est limité.

#### 1.6.8.1.1 Développements logistiques possibles

##### 1.6.8.1.1.1 Avitaillement direct par camion-citerne



Dans un premier temps, le port pourrait être approvisionné par des camions-citernes pour ravitailler le premier méthanier, au port de Brégaillon ou à Mole Armement à La Seyne-sur-Mer, à condition que l'avitaillement soit plus fréquent. Cependant, le soutage des ferries représente 1/10ème des opérations et le transport routier n'est pas envisageable pour le soutage au port de TCA.

##### 1.6.8.1.1.2 Stockage intermédiaire

Pour assurer l'autonomie et la disponibilité du GNL, un stockage intermédiaire pourrait être envisagé.



Comme décrit dans les paragraphes précédents, ceci peut être réalisé avec un stockage à petite échelle ou des conteneurs ISO empilés. Étant donné la faible quantité de GNL fournie en dehors du port de la TCA, l'installation d'une installation de stockage intermédiaire durable n'est pas intéressante.

Une autre solution pour éviter les mouvements de camions sur le quai lorsque d'autres opérations sont en cours est le stockage intermédiaire dédié. Ce type d'installation est logiquement intéressant dans le port de TCA en raison de la présence de consommateurs finaux. Cependant, l'emplacement n'est pas du tout favorable, en raison du manque d'espace sur le quai et des contraintes de sécurité d'une telle installation dans le centre de la ville. Cette solution ne sera donc pas étudiée.

Le stockage intermédiaire à grande échelle implique des volumes d'échanges très importants. Elle ne sera donc pas étudiée.

### **Analyse critique**

Le soutage en réservoir pourrait être la première étape en raison de sa flexibilité et de son faible investissement financier.

Vous pouvez l'utiliser pour ravitailler un ferry à Brégaillon ou à Mole Armement à La Seyne-sur-Mer. Toutefois, il s'agit d'un faible pourcentage de l'avitaillement des ferries. La plupart des avitaillements en GNL se font dans le port de TCA, où cette solution n'est pas envisageable.

Il existe un autre segment de marché qui peut être approvisionné en GNL par des navires-citernes: les petits navires de service, les navires câbliers et les navires de recherche. Mais ces navires devraient passer au GNL, ce qui semble peu probable dans les dix prochaines années. Il ne sera donc pas abordé ici.

Pour les volumes inférieurs à 1 000 m<sup>3</sup>, le stockage intermédiaire n'est pas rentable. L'installation d'une installation de stockage intermédiaire dédiée aux ferries TCA n'est pas réalisable pour des raisons de sécurité dans la zone urbaine et d'espace disponible.

L'utilisation de conteneurs ISO offre des perspectives limitées. Il permet la création d'un stockage intermédiaire, qui serait au maximum disponible dans le port de Brégaillon, sous réserve d'une étude de risque. Comme les volumes totaux couverts sont faibles, les conteneurs ISO peuvent approvisionner les petits navires à proximité, mais peuvent difficilement répondre à la demande des ferries.

#### 1.6.8.2 Transport par voie maritime

L'avantage des navires de soutage est qu'ils peuvent opérer là où les pétroliers n'arrivent pas et approvisionner les navires ayant une cale de plus de 500 m<sup>3</sup>. Ils laissent également le quai libre pour les opérations commerciales, telles que le transfert de passagers ou de marchandises.

Bien que la rentabilité d'un navire-citerne soit basée sur la fréquence des opérations, grâce à sa capacité de stockage relative, il peut également être utilisé comme un dépôt local de stockage intermédiaire. S'il est amarré, il peut permettre le ravitaillement local par pétrolier.

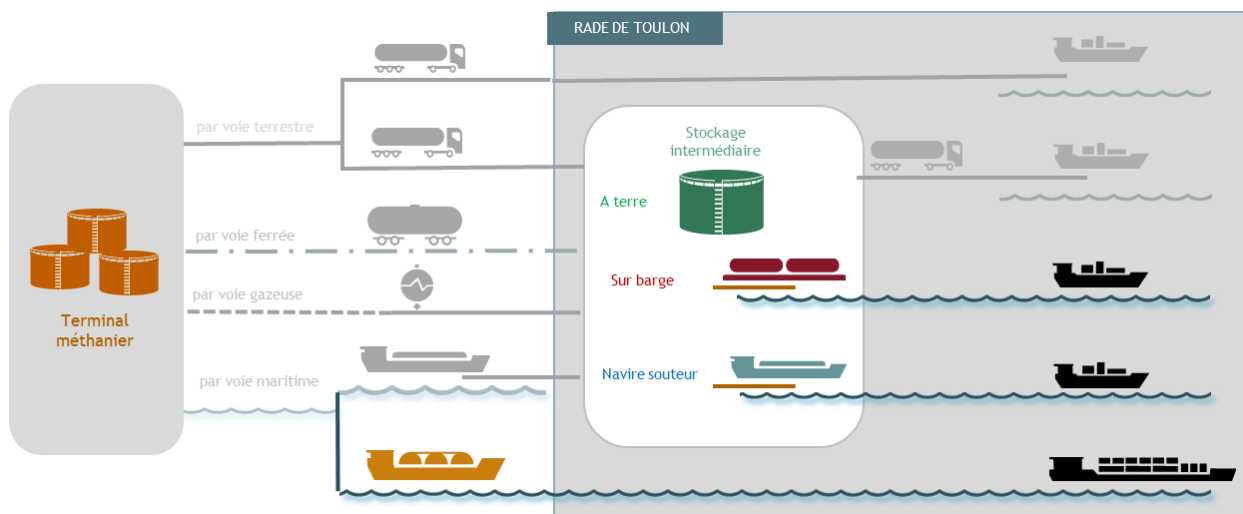


Figure 58- Schéma du transport maritime dans la rade



Comme illustré ci-dessus, en 2019, l'avitaillement par voie maritime a concerné uniquement les ferries et principalement le terminal de Toulon Côte d'Azur (TCA):

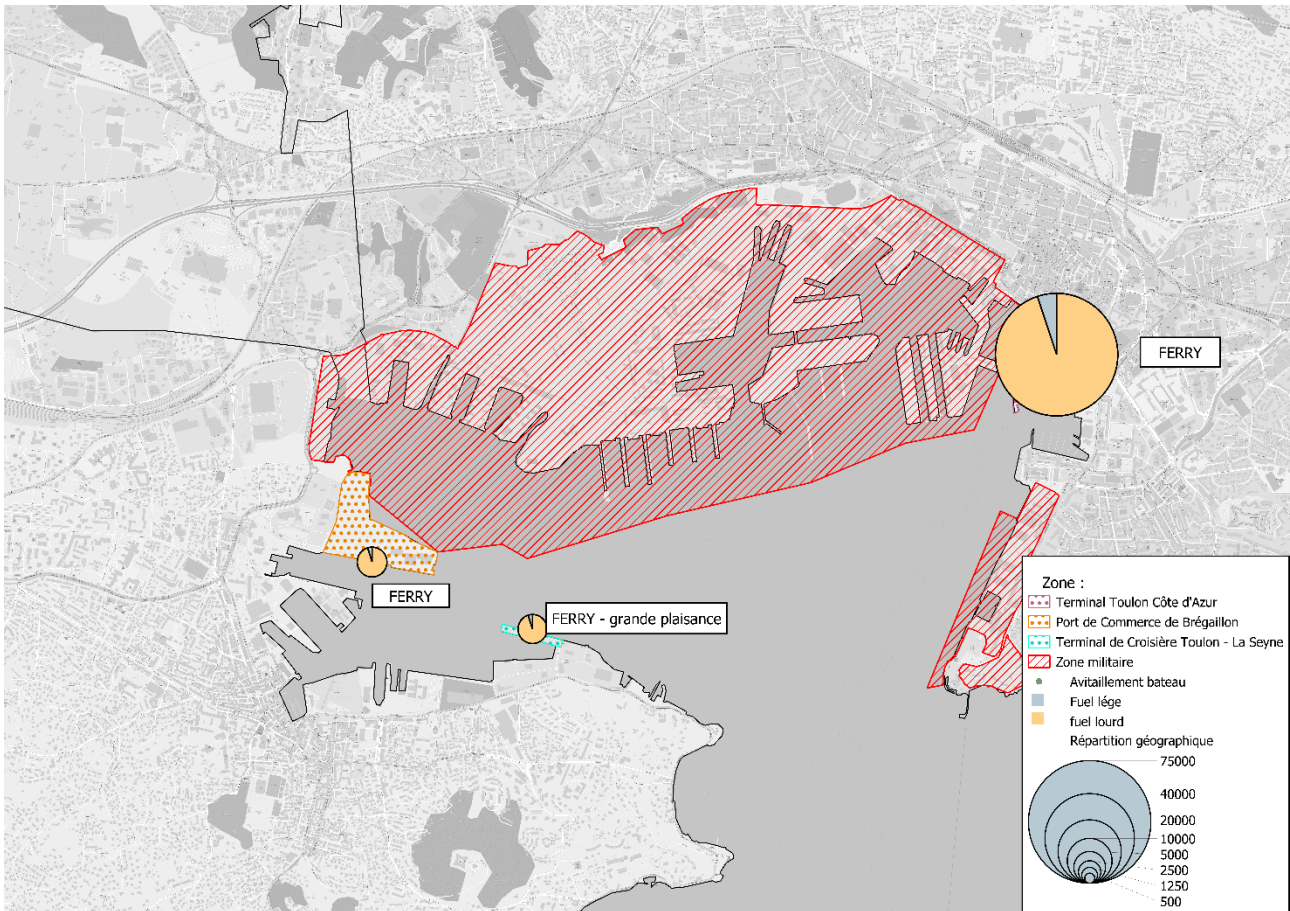




Figure 59- Avitaillement par navire en 2019

Il existe 2 types de bunkers: le **navire bunker**, avec sa propre propulsion   
 la barge de soutage 

**Le navire-citerne** est équipé d'une propulsion autonome. Après avoir rempli ses réservoirs dans un terminal GNL, il se rendra à côté des navires pour les ravitailler. Des détails supplémentaires ont déjà été donnés au chapitre 1.6.6.2.

**La barge d'avitaillement non propulsée** n'a pas d'équipage en service à tout moment. Il faut un pousseur ou un remorqueur pour le déplacer. Elle implique donc un faible investissement.



Figure 60- Barge de transfert avec réservoir de type C

Les allèges peuvent être utilisées pour transporter des conteneurs ISO vers les navires à approvisionner ou être équipées de citernes. Il peut également être utilisé pour le stockage intermédiaire.

**La barge de soutage autopropulsée** reste destinée à un usage fluvial, mais le fait d'être équipée d'une propulsion offre une autonomie de déplacement. L'inconvénient est qu'elle nécessite un équipage.

Le LNG London est un automoteur léger de 3 000 m<sup>3</sup> destiné à la navigation intérieure et bénéficie d'une dérogation exceptionnelle pour la navigation maritime.



Figure 61- Le méthanier de Londres

La solution de la barge n'est pas envisagée pour la rade de TOLONE pour les raisons principales suivantes:

- l'escale temporaire ou permanente d'un bateau n'est pas assurée dans la rade en raison du manque de quais disponibles;
- le transport par allèges des conteneurs ISO de Brégaillon pose des problèmes de logistique, de manutention et de temps de transport.

La chaîne de soutage des navires de soute est structurée différemment de celle du transport routier et le principal critère est le volume à fournir pour déterminer la taille de la soute.

La taille des navires de soutage est basée sur un critère technique: remplir les cales toutes les quatre semaines au maximum pour éviter le risque de détérioration du GNL dans le temps.

#### 1.6.8.2.1 Développements logistiques possibles

##### 1.6.8.2.1.1 Développement initial

Le navire de soutage sera nécessaire en cas de soutage de plus de 500 m<sup>3</sup>. A cet effet, un navire pourrait être partagé dans la zone Maritimo pour effectuer un avitaillement occasionnel à Toulon.

##### 1.6.8.2.1.2 Navire-citerne local

Un navire de soutage local devient nécessaire lorsque le volume annuel de GNL dépasse 100 000 m<sup>3</sup>.

Au cours des dix prochaines années, aucun navire de soutage local ne devrait être affecté à la rade de TOLONE car le volume de GNL fourni à TOLONE devrait rester inférieur à 45 000 m<sup>3</sup> par an.

##### 1.6.8.2.1.3 Stockage intermédiaire

Le stockage intermédiaire n'est pas nécessaire pour la chaîne d'approvisionnement de l'avitaillement car les volumes disponibles sont suffisants pour répondre à la demande. Le temps serait utilisé pour faire des réapprovisionnements et ensuite retourner à l'un des terminaux FOS pour se réapprovisionner.

## **Analyse critique**

Le ravitaillement en mer peut être adopté. En fait, c'est la méthode préférée pour Toulon car elle est la plus adaptée au ravitaillement des ferries dans le port.

Le volume annuel à fournir sera le critère pour justifier l'investissement dans un navire de soutage local ou partagé avec d'autres acteurs de la région.

## **1.6.9 Développement de l'approvisionnement en GNL**

### *1.6.9.1 Évolution du marché mondial*

La plupart des études prévoient la croissance du GNL en tant que carburant marin, mais chacune avec des degrés d'évolution différents. La fiabilité de ces études est difficile à utiliser comme référence pour une vision à plus de 20 ans.

La Figure 62 présente les perspectives pour 2019 de DNV GL<sup>18</sup>.

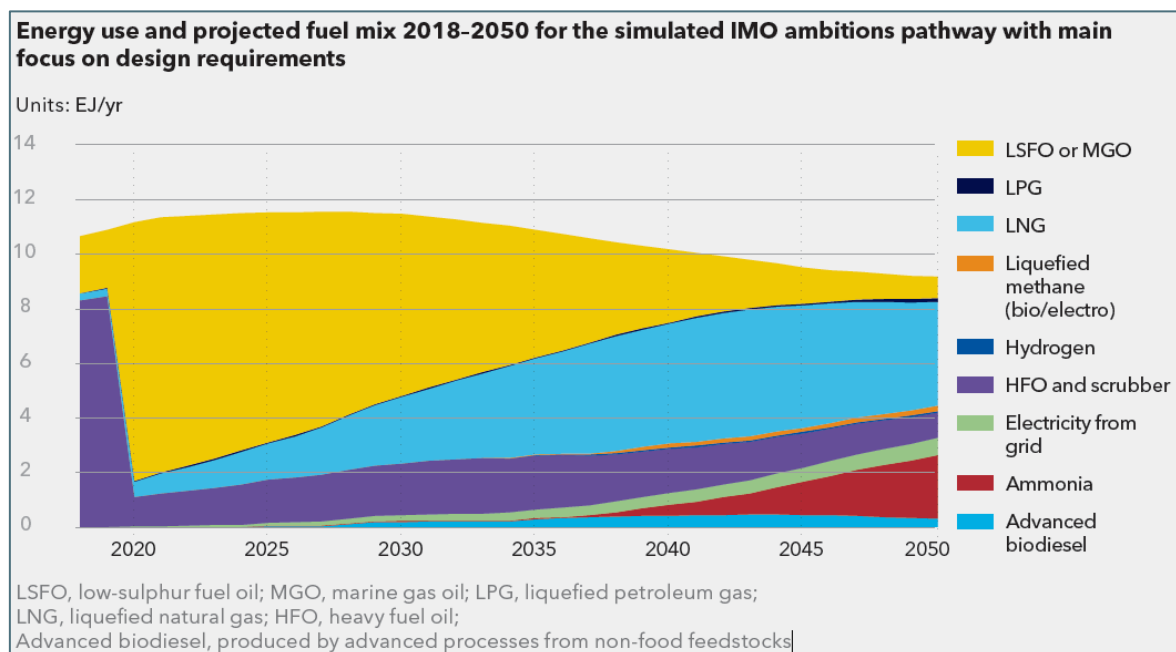


Figure 62- Prévisions sur l'utilisation du GNL comme carburant dans le secteur maritime

Comme le souligne DNV GL, cette croissance est étroitement liée aux coûts de l'énergie, à l'évolution technologique à venir et aux changements réglementaires.

La projection du bouquet énergétique à l'horizon 2040 est considérée comme assez fiable car elle est basée sur les décisions prises actuellement. En outre, DNV GL estime que la part du GNL en 2050 pourrait se situer entre 40% et 80% dans le mix énergétique mondial, ce qui dépendra en grande partie du déploiement de l'ammoniac comme source d'énergie alternative.

L'autre hypothèse avancée par DNV GL est un déclin continu des combustibles conventionnels (LSFO, MGO et HFO) au profit des énergies alternatives.

Cette courbe montre que de 2020 à 2030, les carburants conventionnels seront remplacés par le GNL à hauteur de **21,4%** (Tableau 17).

Année	GNL (pessimiste - optimiste)
2020	5,02
2025	11,5%
2030	21,4%

Tableau 17- Part du GNL dans la consommation mondiale de carburant marin

<sup>18</sup> DNV GL. (2019) Prévisions maritimes à l'horizon 2050 - Perspectives de la transition énergétique 2019.

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

Toujours selon le rapport du DNV GL, les navires GNL seront déployés comme suit:

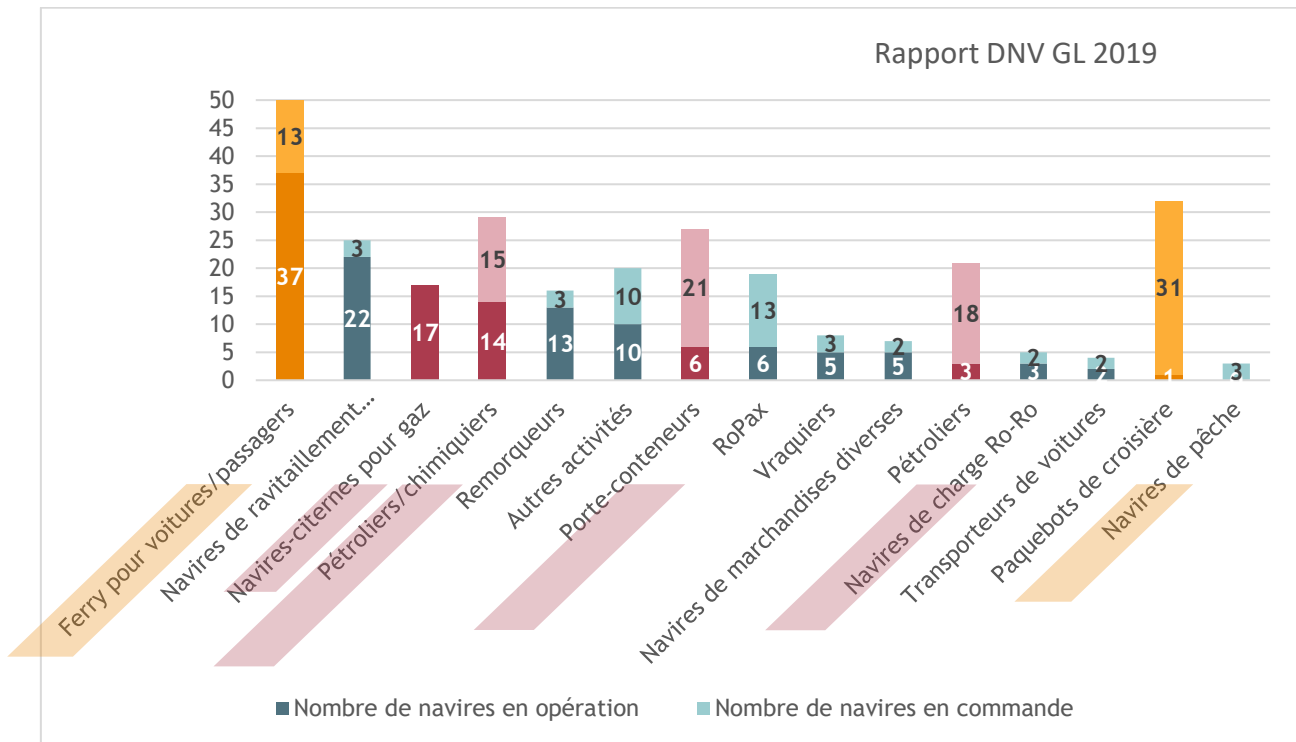


Figure 63- Nombre total et type de navires alimentés au GNL

Le **marché où la demande est la plus forte est celui des ferries et des bateaux de croisière**, en partie en raison de l'impact du grand public. Aucun avitaillement en GNL pour les navires de croisière n'est prévu dans le port de TOLONE au cours des dix prochaines années. Toutefois, compte tenu de la proportion actuelle de bunkers pour ce segment), une croissance est possible pour la rade de TOLONE. Ce segment concerne les soutes inférieures à 1 000 m<sup>3</sup> par ferry. Il y a actuellement 8 ferries en service dans le port de Toulon. Selon l'étude de DNV GL, 21 à 25% de ces navires passeront au GNL en 2030. On estime donc qu'au cours des dix prochaines années, un maximum de deux ferries seront propulsés au GNL.

Le deuxième segment de marché concerné est celui des navires porte-conteneurs et des navires chimiquiers/citernes. Ce marché concerne les soutes pour les navires de plus de 3 000 m<sup>3</sup> mais ne concerne pas la rade de Toulon.

Un autre segment de navires qui se convertira au GNL est celui des navires rouliers et ro-pax. En escale à Toulon, ces navires ont une fréquence très irrégulière et se ravitaillent dans d'autres ports.



Dans la suite de cette étude, sur la base de ces projections, il sera considéré que:

- en 2025: 1 ferry passera au GNL
- en 2030: 2 ferries passeront au GNL.

#### 1.6.9.2 Développement du GNL dans la rade de TOLONE

##### **Marché intérieur**

Le soutage dans le port de TOLONE ne verra pas toujours une conversion des navires au GNL.

Par exemple, les câbliers, les navires de recherche et de service ne passeront pas au GNL dans les dix prochaines années.

Il est supposé que les soutes des générateurs auxiliaires de secours seront toujours en MGO.

A Toulon, en 2030, la consommation attendue correspond à 2 ferries alimentés au GNL représentant  $82\,551 \times 0,25 \times 2 = 41\,275 \text{ m}^3$  par an, qui arrondis deviennent  $41\,300 \text{ m}^3$ .

Le ravitaillement en GNL se fera en moyenne à raison de  $1\,250 \text{ m}^3$  tous les 11 jours, soit  $115 \text{ m}^3$  par jour (pour deux ferries).

Toutefois, cette demande n'est pas constante tout au long de l'année et il convient de garder à l'esprit les éléments suivants:

- Demande de pointe en été, environ  $2.000 \text{ m}^3$  à fournir tous les 4 jours, ou  $500 \text{ m}^3$  par jour en considérant 2 ferries.
- Périodes mortes avec un seul ferry en service et une demande moyenne par jour d'environ  $60 \text{ m}^3$ , voire  $25 \text{ m}^3$  par jour lorsque la demande est la plus faible.

##### *Tendance sur 10 ans*

En considérant que 90% des ferries seront ravitaillés au terminal passagers de TCA et que les 10% restants seront répartis équitablement entre Brégaillon et La Seyne-sur-Mer, la projection suivante peut être faite pour l'évolution de la consommation de 2020 à 2030:

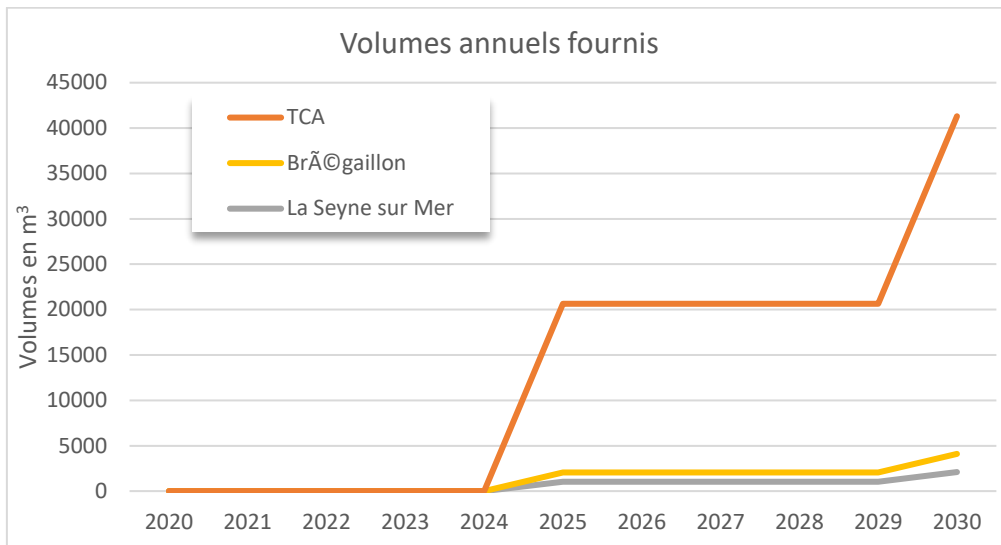


Figure 64- Evolution annuelle de la demande de GNL sur 10 ans

Le ravitaillement en carburant à Brégailion et à La Seyne-sur-Mer peut être effectué par des camions-citernes.

Le soutage à TCA, en particulier pendant la période de pointe estivale, est effectué par des navires de soutage afin de respecter l'obligation d'accéder par les eaux du port pour effectuer le soutage.

### ***Marché extérieur***

Pour les usages autres que le carburant marin à Toulon, une augmentation du volume des échanges de GNL à Toulon est possible, affectant les modalités d'approvisionnement.

#### 1.6.9.2.1 Carburant

##### Carburant marin

En dehors de la rade de Toulon et du secteur maritime, aucun marché extérieur n'a été identifié (pas de marché pour les bateaux fluviaux ni pour les bateaux de pêche).

##### NGV

Le gaz naturel comme carburant pour les véhicules (en particulier les poids lourds) pourrait constituer un débouché industriel potentiel. Mais elle reste marginale.

##### Carburant pour chemin de fer

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

#### 1.6.9.2.2 Fourniture d'électricité à partir des docks

Cette utilisation correspond au raccordement des navires à quai pour fournir de l'électricité et leur permettre d'éteindre leurs moteurs et ainsi réduire les émissions polluantes lorsqu'ils sont au port.

Sur les quais du terminal TCA, la construction d'une centrale, connectée au réseau terrestre, pour l'alimentation électrique des ferries est en cours.

Une autre utilisation peut être dérivée de l'alimentation des bateaux de croisière. Avec un total de 40 ports d'escale d'une durée moyenne de 12 heures et une consommation électrique estimée à 5 MW, la demande annuelle de GNL serait de 840 m<sup>3</sup> (environ 420 t par an). Elle reste cependant marginale par rapport aux besoins des ferries.



Figure 65- Exemple de phare pour l'alimentation en électricité des navires à quai

#### 1.6.9.2.3 Industries

Seuls les sites industriels qui ne peuvent pas se raccorder au réseau de distribution de gaz sont susceptibles de passer au GNL. Ces sites sont principalement situés dans les départements des Alpes Maritimes (06) et des Alpes de Haute Provence (04). Un site industriel achèterait en moyenne environ 25 réservoirs de GNL par an, soit environ 1 000 m<sup>3</sup> (500 t par an). Dans le pire des cas, une telle utilisation n'affecterait aucun site industriel de la région.

#### 1.6.9.2.4 Usage domestique

Il existe des cas d'utilisation domestique de GNL dans des zones éloignées du réseau national de distribution de gaz naturel. Elles concernent principalement les départements des Alpes Maritimes (06) et des Alpes de Haute Provence (04). Les besoins annuels d'une petite municipalité sont d'environ 200 m<sup>3</sup> de GNL (100 t par an).

Dans le pire des cas, aucune municipalité de la région n'est concernée par cette utilisation.

### 1.6.10 Résumé et recommandations

La demande de GNL pour le port de Toulon **est susceptible d'être liée à l'adoption de ce carburant alternatif dans les ferries**. Sur 10 ans, selon le scénario pessimiste, aucun navire ne se convertira au GNL, alors que selon le scénario le plus optimiste, 2 navires pourraient être alimentés au GNL.

Le port de la TCA continuera à concentrer 90% de l'avitaillement dans les cas où, compte tenu de l'espace d'accostage limité, **l'utilisation d'un système d'avitaillement en eau des navires sera nécessaire**.

Le volume annuel dans la rade de Toulon, même dans les prévisions les plus optimistes, ne justifie pas l'investissement d'un bunker local à Toulon. Le schéma le plus logique sera d'utiliser un navire de soutage qui sera approvisionné à Fos et partagé avec la région sud jusqu'à ce qu'il atteigne les ports italiens.

Le volume requis pour chaque avitaillement, environ 1 000 m<sup>3</sup>, nécessitera l'utilisation d'un navire avitailleur d'une capacité d'au moins 3 000 m<sup>3</sup>.

Le transport par voie maritime peut être complété par **voie terrestre sur les sites de Brégaillon et de La Seyne-sur-Mer**, notamment en basse saison. Pendant cette période, la demande de carburant est moins soutenue, ce qui se traduit par un avitaillement de moindre volume. Ce mode d'avitaillement est conseillé pour les opérations initiales afin d'attirer d'autres utilisateurs à l'avenir. Elle offre également une plus grande flexibilité, car le ravitaillement par la route peut se faire très rapidement. En revanche, les navires de soutage, étant partagés avec d'autres parties, nécessitent des délais de réapprovisionnement plusieurs jours à l'avance.

Dans ce cas, la chaîne d'approvisionnement en GNL maritime est fortement liée aux ferries. Les choix de la société d'exploitation seront déterminants pour le calendrier et la logistique de l'approvisionnement. L'exemple de la compagnie Brittany Ferries avec le HONFLEUR, navire à conteneurs ISO, montre que la chaîne logistique dépend également du choix technologique des navires.

Les investissements dans les deux modes d'approvisionnement, par route ou par mer, sont très différents.

Pour le **secteur routier**, le prix de la matière transportée comprend le coût du personnel et le coût d'utilisation du camion-citerne (carburant + péages + amortissement). Pour un trajet

direct depuis le terminal FOS, le coût du transport est d'environ **600 €** par citerne. Les contrats à long terme avec les opérateurs et le transport combiné rail-route permettront d'optimiser ces coûts.

La **chaîne d'approvisionnement en navires de soute** aura besoin d'un navire capable de fonctionner en haute mer à partir d'un terminal méthanier. Le marché est assez fermé sur le coût de ces navires. **Un navire souteur de 3 000 m<sup>3</sup> coûterait 40 millions d'euros**, selon les estimations faites par Sofresid à ce sujet. Les coûts d'exploitation varient beaucoup d'un opérateur à l'autre et dépendent notamment de la vitesse de chargement du navire. En d'autres termes, ils dépendent de l'utilisation partagée avec d'autres acteurs de la région sud et de l'Italie.

Pour l'aire toulonnaise, les **investissements en infrastructures seront marginaux** car le secteur ne nécessite pas de nouvelles installations.

La **promotion de l'utilisation du GNL** dans le port de Toulon reste un élément essentiel dont le territoire est partie prenante. Tout d'abord, le soutage du GNL doit être intégré dans les réglementations portuaires locales. Cela permettra d'effectuer un premier avitaillement en GNL dans la rade, à des fins de test, ainsi que de démontrer l'adéquation du port à ce type d'opération.



## 2 La Corse

### 2.1 Quantification des besoins en GNL

La quantification des besoins en GNL a été réalisée sur la base de données provenant de différentes sources, notamment:

- la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) de 2015;
- les flux d'approvisionnement en énergie;
- les solutions de soutage possibles;
- enquêtes et entretiens

Le tableau suivant résume les utilisations potentielles du GNL en Corse:

Usages potentiel du GNL	Hypothèses sur la demande	Consommation actuelle	Besoins en GNL
<b>Production d'électricité</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Conversion des centrales thermiques de Lucciana et Vazzio au GNL d'ici 2023 (PPE 2015) à combiné à une baisse de production énergétique</li> </ul>	~importation de 180 000 T de fioul	~160 000 <sup>19</sup> m <sup>3</sup> / an
<b>Carburant pour les transport terrestres</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Conversion de 10% à 15 % du parc de VL et PL au GNV</li> </ul>	Importation de carburants SP et GO (~ 30 000 T)	Entre 40 000 et 60 000m <sup>3</sup> / an
<b>Carburant maritime</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Conversion progressive des navires ferries et croisières au GNL</li> <li>▪ Pas de demande sur les navires de services et la plaisance</li> <li>▪ Soutage GNL réalisé en priorité sur des points de massification du GNL situés sur le continent</li> </ul>	Marginal: le soutage actuel des navires touchant la Corse est réalisé sur le continent	Marginal
<b>Réseau de Gaz de Ville</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Conversion des stations de gaz d'Engie du Loretto et de l'Arinella (alors que celle du Loretto est en renouvellement)</li> <li>▪ Consommation stable</li> </ul>	Importation de 12 000 T de GPL (butane et propane)	~ 24 000 m <sup>3</sup>
<b>Energie isolée</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Conversion (&lt;10%) des cuves d'industriels utilisant du GPL ou du FOD vers le GNL + nouveaux utilisateurs industriels installant des groupes de chaleur ou électrogène fonctionnant au GNL</li> </ul>	GPL: < 100 T/an + FOD	Marginal
<b>Alimentation électrique des navires à quai</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Utilisation du GNL pour l'électrification à quai des navires: une station par port, sur 4 ports (Ile rousse, Porto Vecchio, Bastia et Ajaccio),</li> <li>▪ Chaque poste fonctionne 10h par jour</li> </ul>	Utilisation du MGO des navires	~10 000m <sup>3</sup> / an

<sup>19</sup> Volume exprimé dans le cahier des charges publié par le Ministère de la transition Ecologique au T2 2020 visant à sélectionner l'investisseur et l'exploitant de la future installation d'approvisionnement des centrales thermiques en GN.

Usages potentiel du GNL	Hypothèses sur la demande	Consommation actuelle	Besoins en GNL
Utilisations potentielles du GNL	Hypothèses de demande	Consommation de courant	Besoins en GNL
Production d'électricité	Conversion au GNL des centrales thermoélectriques de Lucciana et Vazzio d'ici 2023 (PPE 2015) à combiner avec une diminution de la production d'énergie.	importation de ~ 180 000 T de fioul	160 000 <sup>20</sup> m <sup>3</sup> /an
Carburant pour le transport terrestre	Conversion de 10 à 15% du parc de véhicules légers et lourds au GNC	Importation de combustibles SP et GO (~ 30.000 T)	Entre 40 000 et 60 000 m <sup>3</sup> /an
Carburant marin	Conversion progressive des ferries et des navires de croisière au GNL	Marginal: l'avitaillement actuel des navires à destination de la Corse est effectué sur le continent.	Marginal
Réseau de gaz de ville	Conversion des stations-service Engie de Loretto et d'Arinella (la station de Loretto est en cours de rénovation).	Importations de 12 000 T de GPL (butane et propane)	~ 24.000 m <sup>3</sup>
Énergie isolée	Conversion au GNL (<10%) de réservoirs industriels utilisant du GPL ou du diesel à usage domestique + nouveaux utilisateurs industriels installant des unités de chauffage ou des générateurs alimentés au GNL	GPL: < 100 T/an Carburant diesel à usage domestique	Marginal
Alimentation électrique des navires à quai	Utilisation du GNL pour l'électrification des navires à quai: une station par port, dans 4 ports (Ile rousse, Porto Vecchio, Bastia et Ajaccio) pendant 10 heures par jour,	Utilisation de gazole marin par les navires	~ 10 000 m <sup>3</sup> /an

## 2.2 Solution d'approvisionnement et probabilité de mise en œuvre

Un terminal GNL n'étant pas envisageable sur l'île, l'approvisionnement terrestre devra être assuré par des camions ravitaillés sur le continent (par exemple à Fos), sous forme de conteneurs ISO ou de camions-citernes. Les camions transportés par voie maritime seront débarqués au port de Lisula (le seul port qui autorise actuellement le déchargement de

<sup>20</sup> Volume exprimé dans le cahier des charges publié par le ministère de la Transition écologique au deuxième trimestre 2020 pour sélectionner l'investisseur et l'exploitant de la future centrale GN des centrales thermiques.

marchandises dangereuses de classe 1), puis transportés par route jusqu'au point de livraison.

Le transfert du GNL par gazoduc, nécessairement cryogénique, est très complexe et trop coûteux. Il faut donc procéder à une regazéification (transformation en GN) avant de le livrer aux réservoirs pour utilisation. Cependant, le GNL à la pression atmosphérique est très volumineux (1 m<sup>3</sup> de GNL contient 600 m<sup>3</sup> de GN), il est difficile à stocker et ne peut être transporté que par gazoduc, c'est pourquoi l'approvisionnement en GNL n'est pas toujours viable sur le plan économique, logistique ou environnemental si l'utilisateur n'est pas raccordé à un réseau de gaz.

Les utilisations les plus probables sont la production d'électricité et le carburant pour le transport terrestre.

Pour les **centrales thermoélectriques**, différents schémas sont à l'étude, basés sur des unités flottantes installées en pleine mer, qui assureraient la réception et le stockage du GNL, ainsi que la regazéification et la livraison du GNL dans les réservoirs des centrales. Cette option technique n'impliquerait pas le déplacement de méthaniers en Corse.

Le tableau suivant résume de manière qualitative les méthodes et les probabilités de mise en œuvre technique des plantes pour les différents usages.

Usages potentiel du GNL	Solution technique d'approvisionnement envisagée	Probabilité de réalisation
Production d'électricité	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ GNL réceptionné et stocké au large dans des stations dédiées</li> <li>▪ Regazéification et transport du GN par canalisation sous-marine vers la terre et vers les cuves des centrales thermiques</li> </ul>	<b>Forte</b> (AO en cours du ministère pour sélectionner l'exploitant de la solution)
Carburant pour les transport terrestres	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Approvisionnement des stations-services par des iso conteneur GNL ou des camions citernes GNL</li> <li>▪ Stockage en station-service et regazéification pour servir du GNV à la pompe</li> </ul>	<b>Moyenne</b> : nécessite des politiques indicatives de conversion du parc + chaîne logistique d'approvisionnement par camion-citerne GNL depuis FOS peu vertueuse
Carburant maritime	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Soutage GNL par un navire avitailleur en provenance du continent</li> </ul>	<b>Très faible</b> pas d'intérêt économique ni environnemental
Réseau de Gaz de Ville	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Transformation des stations du Loretto et de l'Arinella et approvisionnement en GNL par camion</li> </ul>	<b>Faible</b> : investissements élevés bénéfice environnemental à confirmer avec chaîne d'appro. camion
Energie isolée	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Approvisionnement en iso conteneur GNL</li> </ul>	<b>Très faible</b> : investissement, risques produit, chaîne d'appro.

Usages potentiel du GNL	Solution technique d'approvisionnement envisagée	Probabilité de réalisation
Alimentation électrique des navires à quai	<ul style="list-style-type: none"> <li>Approvisionnement en ISO conteneur GNL</li> </ul>	<b>Faible:</b> impact environnemental à confirmer avec chaîne d'appro. route

Les chapitres suivants illustrent un scénario d'utilisation du GNL comme carburant pour les véhicules dans l'hypothèse d'une conversion de 15% du parc automobile de la Corse et de l'utilisation de 25% des stations-service existantes pouvant offrir du GNC.

### 2.3 Modélisation du GNL comme carburant véhicule

L'estimation des besoins en GNL comme carburant pour les véhicules légers et lourds en Corse part de la connaissance de la taille du parc automobile, de la capacité du réseau de distribution (stations-service capables de distribuer du GNL) et de l'accessibilité routière (itinéraires pour les véhicules lourds transportant du GNL). Le tableau ci-dessous montre la taille de la flotte de véhicules et résume les hypothèses qui sous-tendent l'estimation des besoins en GNL.

Hypothèse	Caractéristiques
<b>Taille de la flotte de voitures et de camions en Corse</b>	Voitures: 190 000 u et Camions: 10 000 u (source DREAL 2016 pour les camions et impression pour les voitures)
<b>Taux de conversion au GNL</b>	Voiture: 15% et Camion: 15% (source PPE 2015 Corse)
<b>Nombre de kilomètres parcourus par an</b>	Voiture: 15.000 km/an et camion: 25.000 km/an (hypothèse de See'up)
<b>Consommation de GNC (kg/100 km)</b>	Voiture: 5 kg/100 km et camion: 15 kg/100 km (Source: <a href="http://www.catalgaz.fr/gnv-economie/">http://www.catalgaz.fr/gnv-economie/</a> )

Tableau 18 - Hypothèses pour estimer la consommation en GNL / an du parc VL et PL

La consommation estimée de GNL par an de la flotte de véhicules terrestres est résumée ci-dessous:

- Voitures: 49 160 m<sup>3</sup> de GNL/an;
- Camions: 12 940 m<sup>3</sup> de GNL/an;
- Voiture + camion: 62 100 m<sup>3</sup> de GNL/an.

Sur la base des données reportées dans le Tableau 19, en considérant un approvisionnement par semaine pour chacune des 25 stations GNL (50 approvisionnements/station/an), un flux de 1 242 camions/an serait généré, chacun d'eux ne pouvant approvisionner qu'une seule station à la fois.

Hypothèse	Caractéristiques
<b>Volume de GNL transporté par un PL citerne de livraison</b>	50 m3 de GNL / camion-citerne
<b>Taille moyenne d'un réservoir GNL d'une station</b>	50 m3 de GNL / station
<b>Nombre de stations-services en Corse</b>	125 stations-services
<b>Taux de stations-services équipées en GNL</b>	20%

Tableau 19 - Hypothèses pour estimer le nombre de livraison des stations-services GNL par année

La sélection des 25 stations-service équipées de GNL a été déterminée par trois paramètres:

- Accessibilité des routes pour les camions transportant du GNL;
- La densité de la population environnante (dans les zones urbanisées);
- Couverture territoriale.

En ce qui concerne l'accessibilité routière, les stations devraient être situées sur le réseau principal (routes nationales) en évitant les sections identifiées comme non praticables par les camions de GNL: Bastia - Biguglia (tunnel) et Portu - Carghjess.



## 2.4 Accessibilité et impact sur le trafic

L'accessibilité a été évaluée sur la base des temps de parcours et des distances depuis le port de Lisula (port de débarquement des véhicules en provenance du continent). Les temps de parcours ont été évalués en tenant compte des vitesses autorisées sur les différents tronçons routiers, tant par rapport aux limites maximales imposées aux véhicules transportant des substances dangereuses que par rapport aux conditions routières qui limitent souvent les vitesses de déplacement.

La réglementation relative au transport de substances dangereuses et explosives impose les limites de vitesse suivantes:

- Vitesse maximale autorisée sur autoroute: 80 km/h;
- Vitesse maximale autorisée sur les routes principales: 60 km/h;
- Vitesse maximale autorisée en zone urbaine (sauf exceptions): 50 km/h.

Afin de tenir compte des vitesses réelles qui peuvent se développer sur le territoire du parcours, les valeurs suivantes ont été considérées par classe hiérarchique de raccordement.

- Liaisons principales: 55 km/h;
- Connexions régionales:
  - 2 voies larges: 50 km/h;
  - 1 voie ou 2 voies étroites: 40 km/h.
- Liaisons locales: 30 km/h.

Les images suivantes montrent le graphique du réseau routier pouvant être utilisé pour le ravitaillement en GNL (Figure 66) et la hiérarchie routière à laquelle se réfèrent les limites susmentionnées (Figure 67).

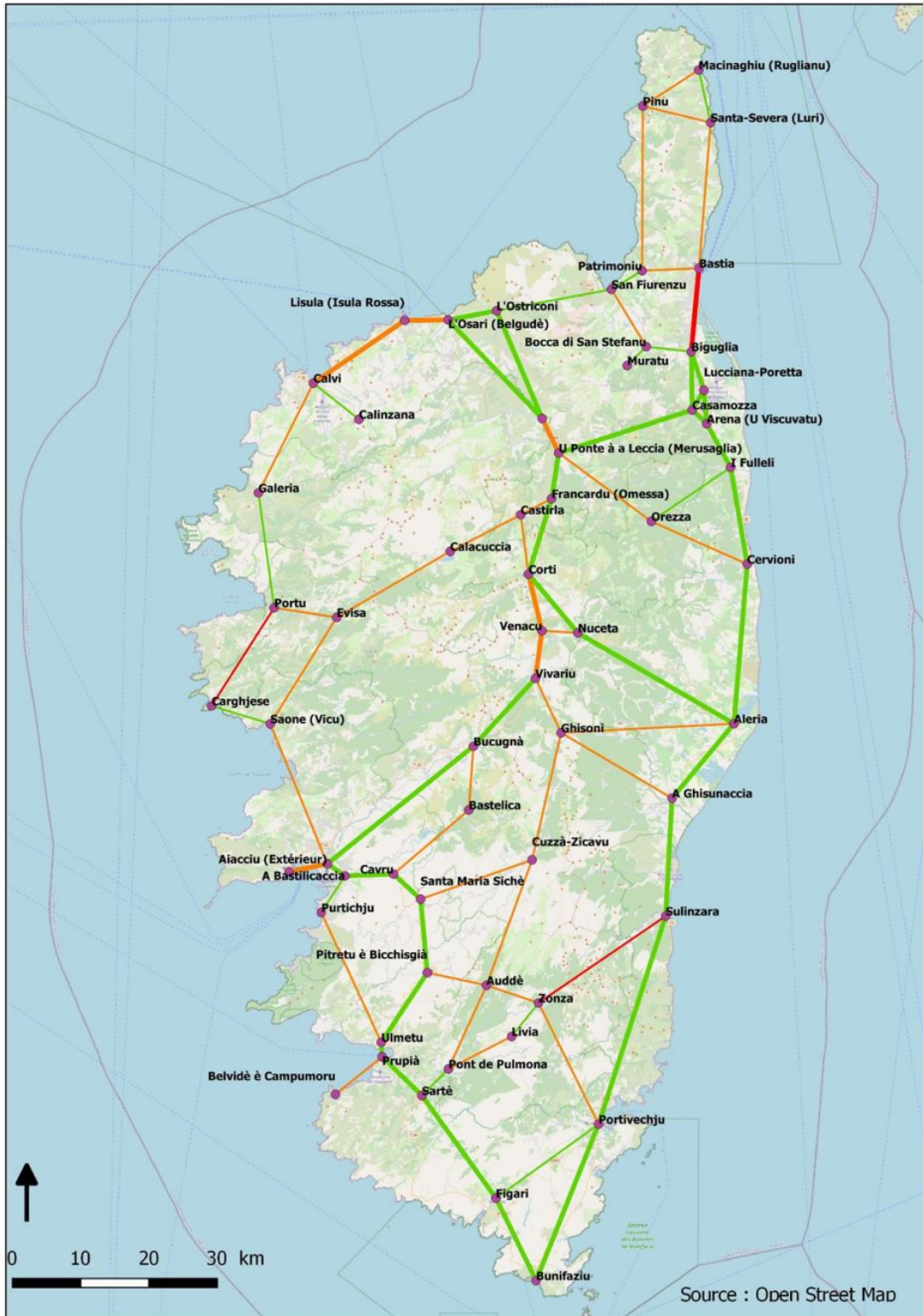


Figure 66 - carte de repérage géographique des segments circulables pour la livraison de GNL



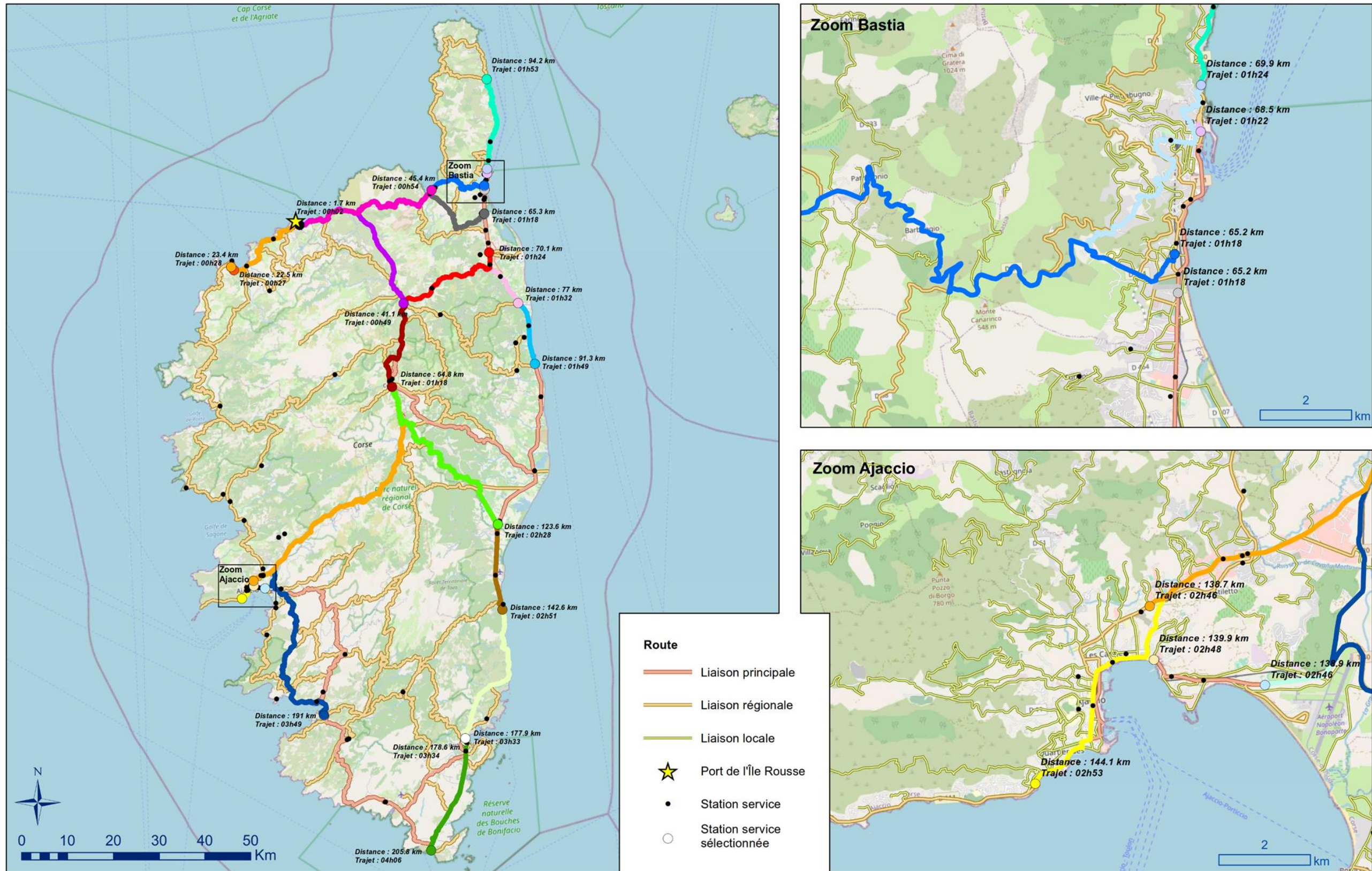










Figure 67 - carte de repérage géographique des stations-services proposées pour distribuer du GNL indiquant le temps de parcours et la distance depuis le port de Lisula.



	Localizzazione	Asse stradale		Tempi di percorrenza da Lisula (ore)	Distanza da Lisula (Km)
1	Bastia sud aeroporto, LUCCIANA, RN 193 crucezza	N 193		0:01:24	70
2	Bastia sud Biguglia, Relais du Lancone - RN 193	N 193		0:01:18	65
3	Bastia sud Montesoro, L'Arinella - RN 193	N 193		0:01:18	65
4	Bastia centro, 556 Avenue de la Libération	N 193		0:01:18	65
5	Galleria nord Bastia, Route du Cap, VILLE-DI-PIETRABUGNO	D 80		0:01:24	70
6	Bastia Porto, 21 Rue Comandante Lucé de Casabianca	N 193		0:01:22	69

	Localizzazione	Asse stradale		Tempi di percorrenza da Lisula (ore)	Distanza da Lisula (Km)
7	Corsica Nord santa severa, Località Santa-Severa, Luri	D 80		0:01:53	94
8	Ghisonaccia	N 193		0:02:28	124
9	Porto Vecchio centro, Les 4 Chemins	N 198		0:03:34	179
10	Porto Vecchio Nord	N 198		0:03:33	178
11	Sari-Solenzara	N 198		0:02:51	143
12	Cervione, PRUNETE	N 198		0:01:49	91



Localizzazione	Asse stradale		Tempi di percorrenza da Lisula (ore)	Distanza da Lisula (Km)	
13	Folelli, Penta-di-Casinca	N 198		0:01:32	77
14	Bonifacio, sennola	N196		0:04:06	206
15	Propriano, San Giuseppe	N 196		0:03:49	191
16	Ajaccio Sud - aeroporto, VIGNETTA ROUTE DE CAMPO DELL ORO	N 193		0:02:46	139
17	Ajaccio Sud, Quartiere St Joseph	N 193		0:02:48	140
18	Ajaccio Est, Boulevard Louis Campi	D 31		0:02:46	139
19	Ajaccio Nord, 65 COURS LUCIEN BONAPARTE	D111		0:02:53	144

	Localizzazione	Asse stradale		Tempi di percorrenza da Lisula (ore)	Distanza da Lisula (Km)
20	Corte, 6 Avenue du 9 septembre	N 193		0:01:18	65
21	Calvi centro, Avenue Christophe Colomb	N 197		0:00:28	23
22	Calvi, Avenue Christophe Colomb	N 197		0:00:27	23
23	Ponte Leccia, Morosaglia	N 197		0:00:49	41
24	Saint Florent	D 81		0:00:54	45
25	L'île Rousse, 29, Ave Pdt Paul Doumer	N 197		0:00:02	2

Tableau 20- temps et distances parcourus pour le ravitaillement en carburant dans les 25 stations proposées

Le délai moyen de livraison à une station du port de Lisula est de **1 heure 57 min/station** et la distance moyenne est de **98 Km/station**. Si l'on considère également les allers-retours des camions, cela générerait une distance totale de **244 600 vei\*km de trafic lourd par an**, qui affecterait un système routier qui n'est généralement pas favorable au transport de GNL en raison de la présence de nombreuses routes étroites et sinueuses, avec des pentes raides et des conditions difficiles qui se produisent dans certaines périodes hivernales. Ce fait doit être pris en compte dans la phase de mise en œuvre du plan, en adaptant le réseau routier là où c'est nécessaire et en prévoyant également des temps de transit des véhicules qui limitent la gêne dans les périodes les plus chargées de la journée.

En ce qui concerne les impacts locaux au port de Lisula, étant le seul port d'entrée, un flux de 25 camions supplémentaires par semaine serait créé par rapport au flux actuel de véhicules (voitures et camions), ce qui devrait également être évalué par rapport à la capacité de transport des navires.

## 2.5 Le schéma de circulation de la Corse

Le modèle de trafic de la Corse a été créé afin de représenter le système de transport routier qui peut être utilisé pour la distribution terrestre du GNL et de dériver les indicateurs d'accessibilité et d'impact sur le trafic générés par les moyens de transport supplémentaires dans le réseau.

Le modèle se réfère à l'ensemble du territoire régional avec plus de détails dans les grandes agglomérations d'Ajaccio et de Bastia.

### 2.5.1 Graphique de réseau

Le graphique du réseau comprend les routes suivantes:

- routes classées comme "Connexions régionales" et "Connexions principales" dans la base de données IGN
- les voies d'accès aux agglomérations dont la population est supérieure à 600 habitants
- voies d'accès aux zones touristiques:
  - Secteur Orezza en Castagniccia,
  - Secteur Niolu,
  - Communes de Ruglianu, Ghisoni, Bastelica, Evisa, Auddè, Cuzzà / Zicavu, Belvidè et Campumoru, Ota.
- des routes d'accès supplémentaires aux stations de ravitaillement en GNL qui ne sont pas incluses dans les points ci-dessus.

Les grandes agglomérations d'Ajaccio et de Bastia comprennent:

pour Ajax:

- i 10 comuni che compongono la Comunità d'Agglomerazione du Pays Ajaccien (CAPA);
- les communes de A Bastilicaccia, Eccica è Suareda et Cavru;
- la rive sud du golfe d'Ajaccio.

pour Bastia:

- i 5 comuni della Comunità d'Agglomerazione de Bastia (CAB);
- les 10 communes de la Comunità de communes Marana-Golo;
- la municipalité de Brandu, au nord;
- les communes de la Plaine jusqu'à Fulleli (A Penta di Casinca) au sud.

Les arcs routiers constituent des tronçons de route homogènes et sont identifiés par une paire de nœuds, dont chacun peut être représentatif:

- une intersection;
- le point final d'un cul-de-sac.
- le changement des caractéristiques de la route

Le

Thématique	Source de données	Critères de choix et vérifications
Réseau routier à l'échelle de la Corse	IGN Route 500@ (20/04/2018)	Croisement avec les autres sources de données disponibles (photographies aériennes, cartographies Google Maps)
Données démographiques	INSEE – populations légales au 1 <sup>er</sup> janvier 2020	Sans objet
Découpages administratifs	Base des EPCI à fiscalité propre au 1 <sup>er</sup> janvier 2020, INSEE	Prise en compte des Communautés d'Agglomérations et des Communautés de Communes
Fonds de plan	Open street map	Sans objet
Points de distribution de carburant	Données Open Data, Ministère de l'économie, 20&4	Prise en compte systématique des points de distribution (même si identifiés comme fermés)
Projets d'aménagement routier	Schéma Directeur des Routes Territoriales de Corse	Prise en compte des projets sur les routes territoriales (à l'exclusion des aménagements sur place de sécurité) Vérification systématique de l'état d'avancement des projets (dans communication institutionnelle et photographies aériennes récentes) Croisement avec les données des autres acteurs institutionnels (Départements et intercommunalités dans les zones d'Aiacciu et Bastia)
Caractéristiques des routes (géométrie, restrictions de circulation, limitation de vitesse, carrefours, passages à niveau, ...)	Cartographie IGN Cartographie Google Maps Photographies aériennes Google Street View	Vérification systématique pour l'ensemble des axes identifiés avec croisement des sources de données
Trafics routiers : trafics moyens journaliers annuels, taux de PL	Rapports de la Collectivité Territoriale (données 2018 avec compléments données 2012) Classement sonore des infrastructures de transport (préfectures 2A et 2B)	Croisement sources de données Le classement sonore des infrastructures de transport permet d'identifier les routes dont le trafic moyen journalier est supérieur à 8 200 véhicules.
Vitesses moyennes	Simulations Google Maps	Vérifications ponctuelles établies à partir de la typologie des routes
Viabilité hivernale	IGN	Altitude supérieure à 900 m

Tableau 21 montre les données considérées pour la construction de la base de données du système de transport, la Figure 69 et la Figure 69 respectivement la carte des routes et connue et le graphique du réseau correspondant.

Les détails du graphe du réseau dans les grandes agglomérations d'Aiaccio et de Bastia sont plutôt représentés dans les images de la Figure 71, Figure 72 et Figure 73.



Thématique	Source de données	Critères de choix et vérifications
Réseau routier à l'échelle de la Corse	IGN Route 500® (20/04/2018)	Croisement avec les autres sources de données disponibles (photographies aériennes, cartographies Google Maps)
Données démographiques	INSEE – populations légales au 1 <sup>er</sup> janvier 2020	Sans objet
Découpages administratifs	Base des EPCI à fiscalité propre au 1 <sup>er</sup> janvier 2020, INSEE	Prise en compte des Communautés d'Agglomérations et des Communautés de Communes
Fonds de plan	Open street map	Sans objet
Points de distribution de carburant	Données Open Data, Ministère de l'économie, 20&4	Prise en compte systématique des points de distribution (même si identifiés comme fermés)
Projets d'aménagement routier	Schéma Directeur des Routes Territoriales de Corse	Prise en compte des projets sur les routes territoriales (à l'exclusion des aménagements sur place de sécurité) Vérification systématique de l'état d'avancement des projets (dans communication institutionnelle et photographies aériennes récentes) Croisement avec les données des autres acteurs institutionnels (Départements et intercommunalités dans les zones d'Aiacciu et Bastia)
Caractéristiques des routes (géométrie, restrictions de circulation, limitation de vitesse, carrefours, passages à niveau, ...)	Cartographie IGN Cartographie Google Maps Photographies aériennes Google Street View	Vérification systématique pour l'ensemble des axes identifiés avec croisement des sources de données
Trafics routiers : trafics moyens journaliers annuels, taux de PL	Rapports de la Collectivité Territoriale (données 2018 avec compléments données 2012) Classement sonore des infrastructures de transport (préfectures 2A et 2B)	Croisement sources de données Le classement sonore des infrastructures de transport permet d'identifier les routes dont le trafic moyen journalier est supérieur à 8 200 véhicules.
Vitesses moyennes	Simulations Google Maps	Vérifications ponctuelles établies à partir de la typologie des routes
Viabilité hivernale	IGN	Altitude supérieure à 900 m

Tableau 21 - Données considérées et sources

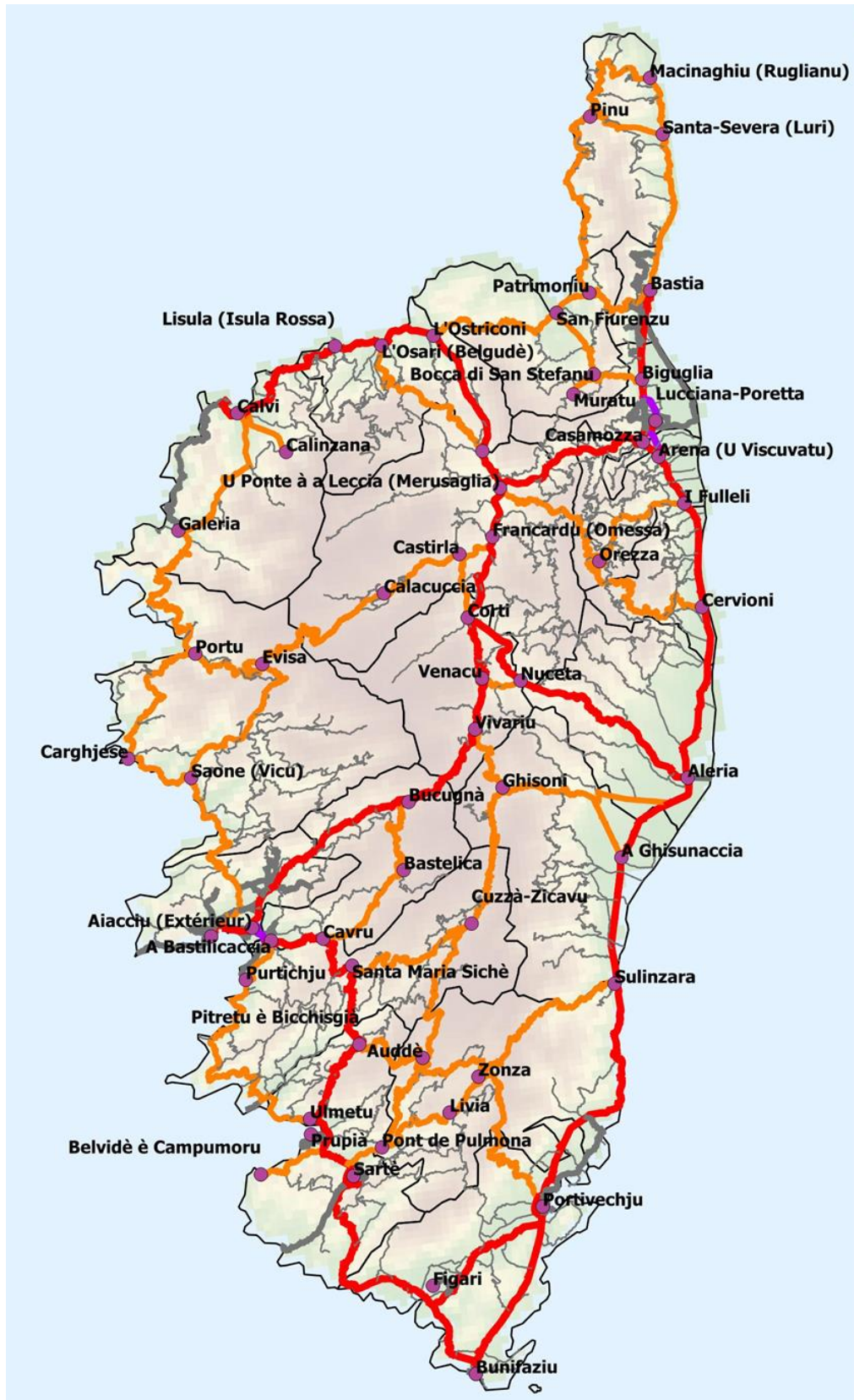


Figure 68 - carte de repérage géographique des nœuds du réseau

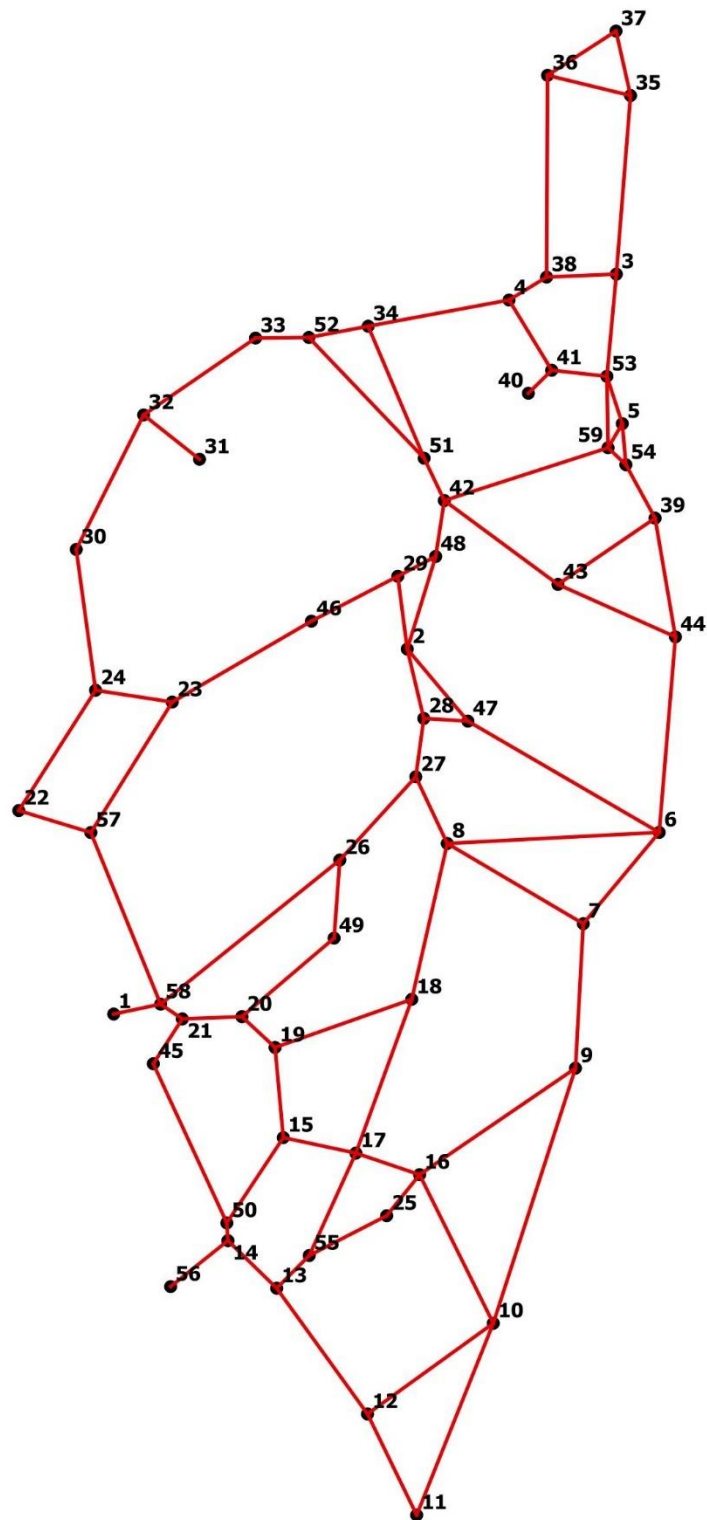


Figure 69 - graphe schématique du réseau (toute la Corse)



Figure 70 - carte de repérage géographique des nœuds du réseau (Ajaccio)



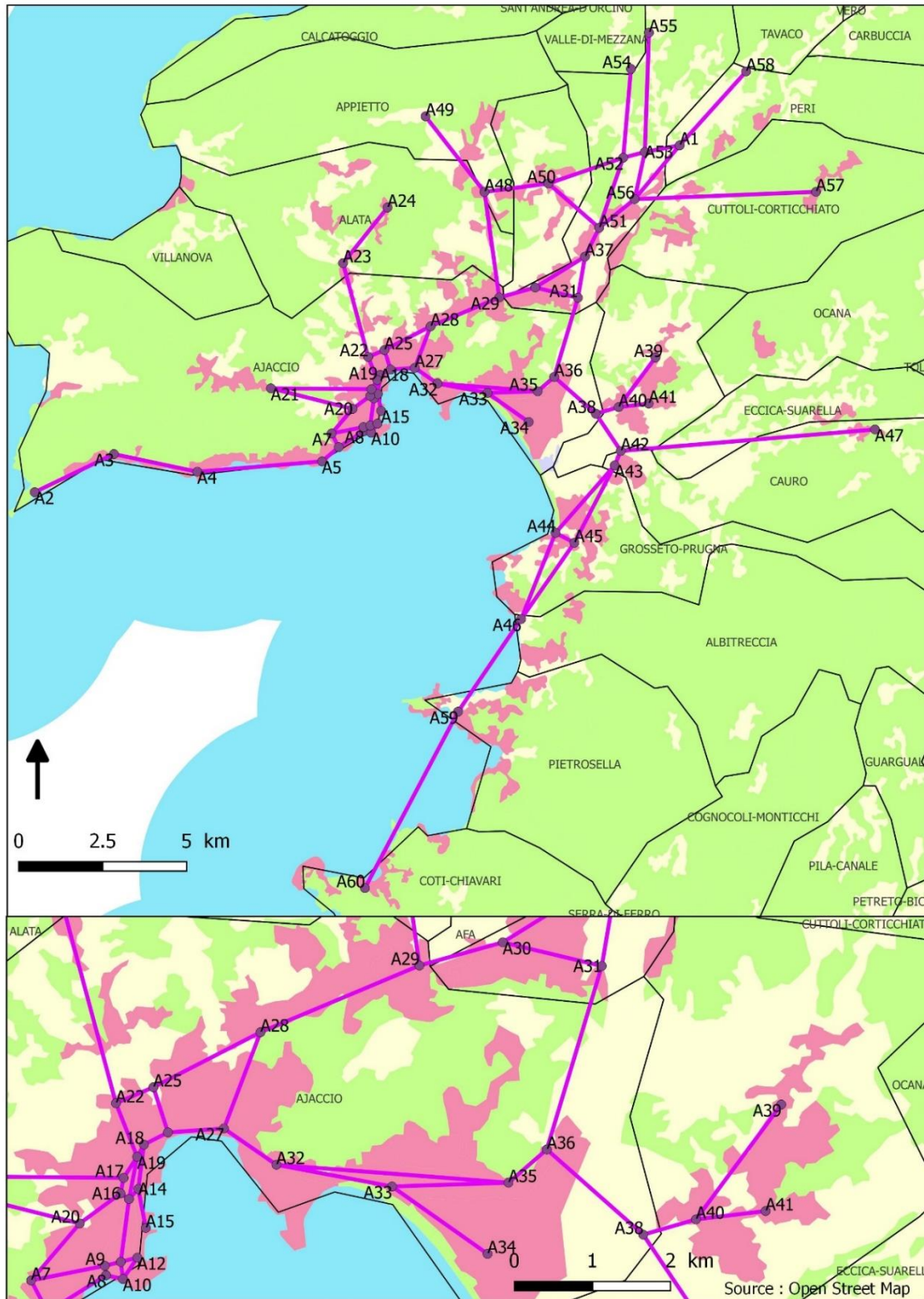


Figure 71 - graphe schématique du réseau (Ajacciu)



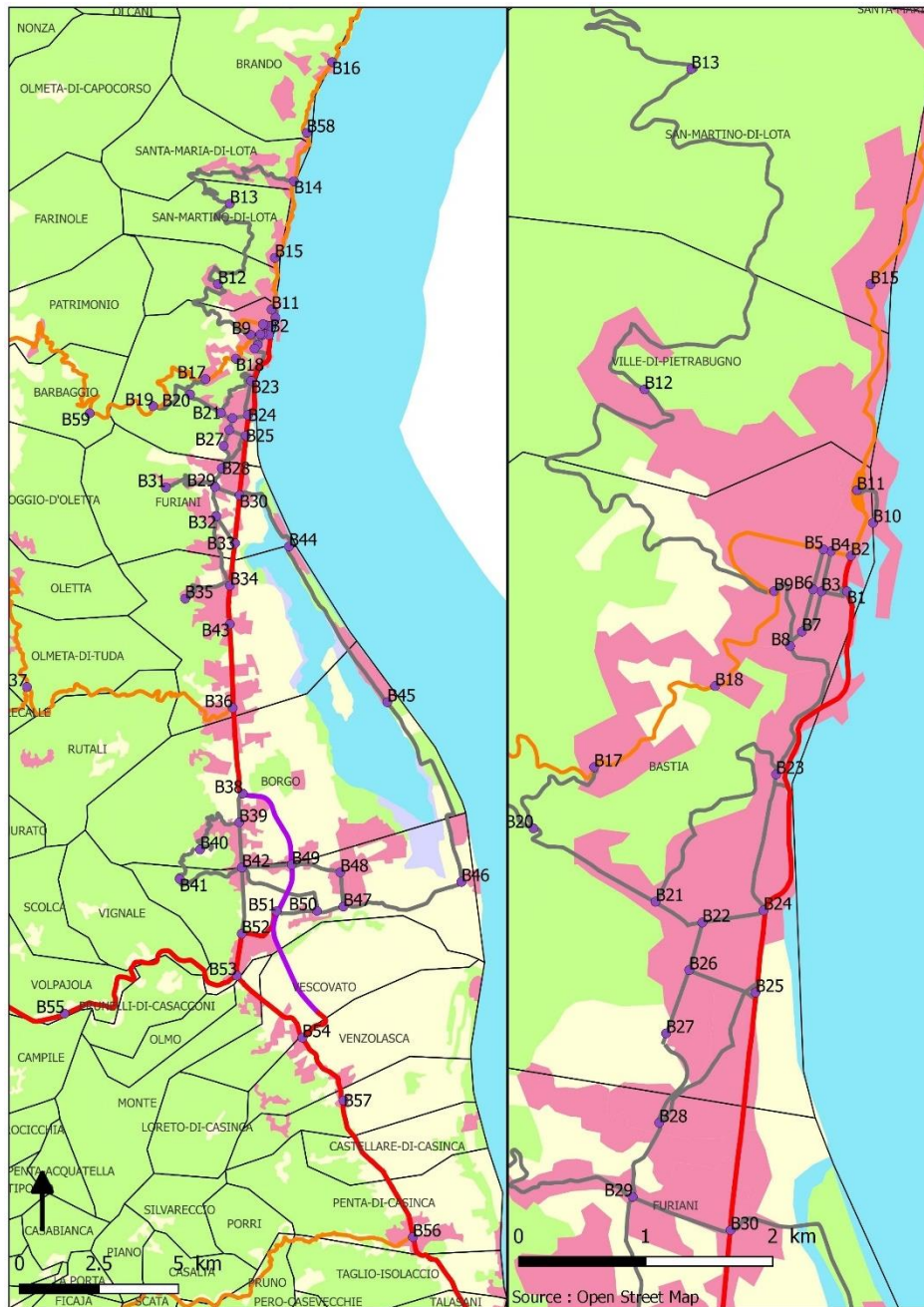


Figure 72 - Carte géographique des nœuds du réseau de la grande agglomération de Bastia

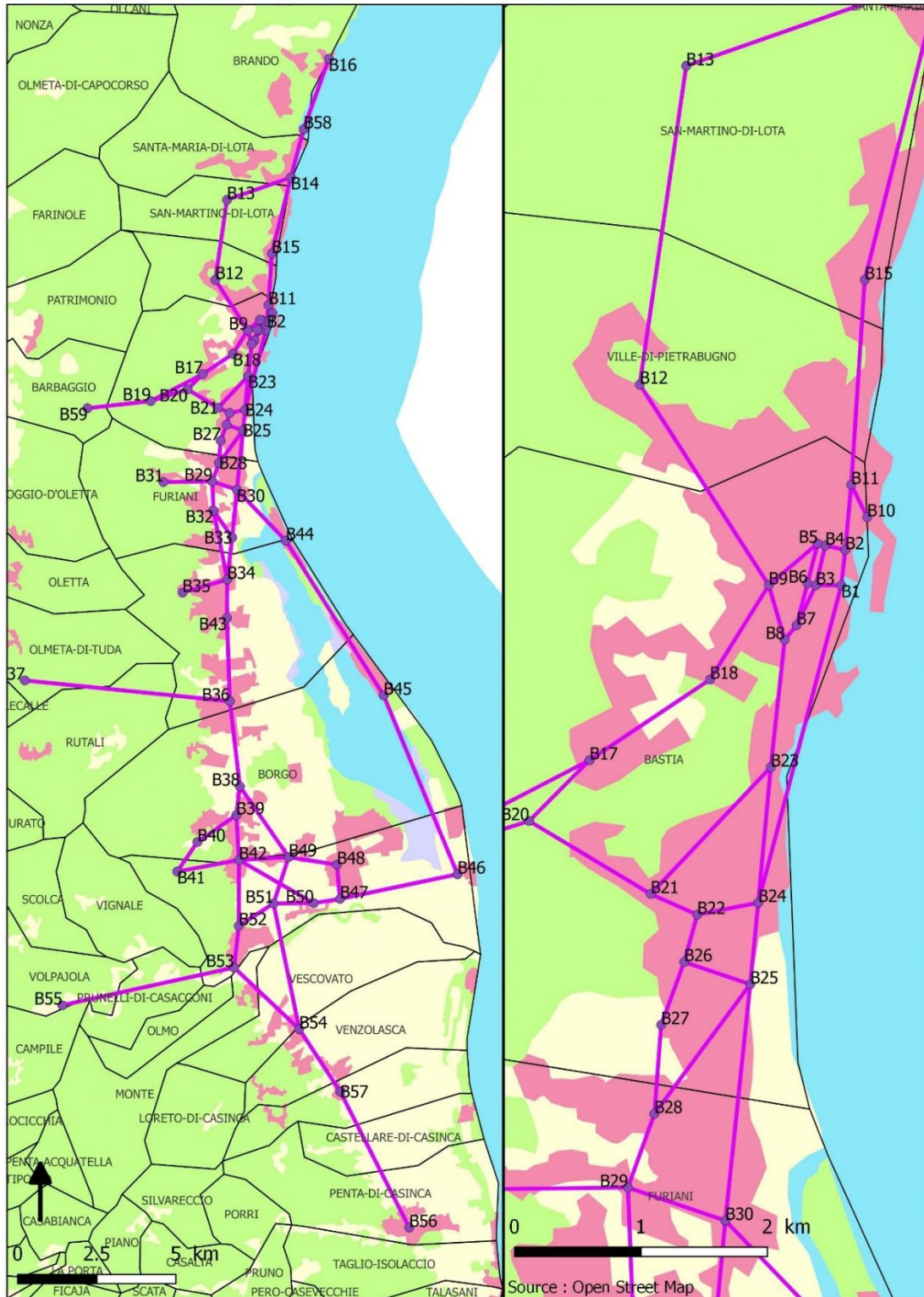


Figure 73- Graphique du réseau de l'agglomération de Bastia

## 3 Sardaigne

### 3.1 Le système de règlement

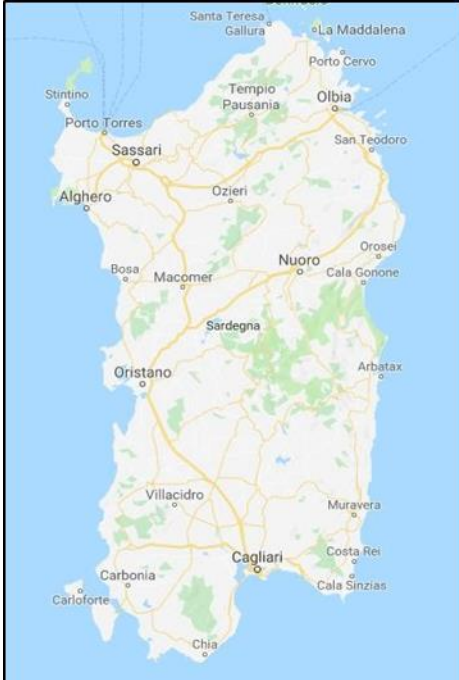


Figure 74 - La région de la Sardaigne

La Sardaigne s'étend sur 23 833 km<sup>2</sup>, est la deuxième plus grande île de la Méditerranée et, avec 1 849 km de côtes, est la région italienne qui présente le plus grand développement côtier (la Sardaigne et ses îles mineures représentent plus d'un quart de l'ensemble du développement côtier italien). Elle occupe une position centrale dans le bassin occidental de la Méditerranée, étant à une distance des côtes toscanes et africaines d'environ 140 km et à une distance de la côte ligure, du sud de la France et des îles Baléares d'environ 350360 km. Les ports de Porto Torres et de Santa Teresa di Gallura se trouvent respectivement à environ 120 et 20 km de la Corse. L'île s'étend en latitude sur environ 270 km et en longitude sur environ 145 km. La capitale régionale est Cagliari. L'altitude moyenne des reliefs est de 380 m au-dessus du niveau de la mer, ce qui permet de considérer la Sardaigne comme principalement vallonnée. Mais du point de vue du paysage, la région

présente des aspects remarquables plus strictement montagneux. Le Campidano constitue la principale zone de plaine, avec une extension de 2350 km<sup>2</sup> et une longueur d'environ 110 km entre le golfe d'Oristano et celui de Cagliari.

### 3.2 Structure démographique

La population totale résidente en Sardaigne s'élève à environ 1 640 000 habitants (ISTAT\_décembre 2018) répartis sur la base d'une subdivision territoriale de 377 communes fusionnées en 4 provinces et une ville métropolitaine: Provinces de Sassari, Nuoro, Oristano, Sardaigne du Sud et la ville métropolitaine de Cagliari.

La concentration de la population dans les zones urbaines est modeste, égale à 69 habitants par kilomètre carré, une valeur nettement inférieure à la moyenne nationale et européenne. En désagrégeant ces données au niveau provincial, comme le montre le Tableau 22, on peut noter une valeur minimale dans la province de Nuoro, signe clair d'une diminution persistante de la population dans les zones internes, par opposition à un renforcement des pôles urbains et métropolitains par le déplacement de noyaux familiaux entiers vers la ville et les côtes.



Province	Densité de population (in/km <sup>2</sup> )
Sassari	64,22
Nuoro	37,69
Oristano	52,84
Sud de la Sardaigne	54,68
Ville Métropolitaine de Cagliari	345,87

Tableau 22 - Densité de population dans les provinces de la Sardaigne

Le phénomène de dépeuplement des zones intérieures est encore aggravé par le phénomène de vieillissement qui caractérise ces zones: il est clair que la faible présence de ressources jeunes dans les zones rurales risque de compromettre les hypothèses de développement qui leur sont destinées. La tendance à l'intégration entre la côte et l'intérieur des terres commence à se manifester dans certaines zones territoriales, en particulier à l'est, où le secteur du tourisme a développé des relations économiques avec des zones de plus en plus vastes et a produit une organisation de l'habitat caractérisée par une plus grande interrelation entre les municipalités de la côte et de l'intérieur. La tendance au renforcement des communes côtières à économie touristique a pris un caractère structurel, de continuité dans le temps et de diffusion sur l'ensemble du territoire. La population s'est déplacée de toutes les communes de l'île non situées sur la côte vers toutes les communes côtières, à quelques exceptions près.

Du point de vue de la structure du peuplement, la Sardaigne est clairement divisée en deux grandes zones: la bande côtière, qui connaît une expansion constante, plus ou moins accentuée dans les différentes zones, et le reste du territoire, qui subit la tendance inverse, provoquant un dépeuplement progressif et inquiétant.

Le Tableau 23 montre l'évolution de la population en Sardaigne (2016, 2017 et 2018).

ANNÉE	2016	2017	2018	Var.% de 2016 à 2017	Var.% de 2017 à 2018
<b>Région totale</b>	1,658,138	1,653,135	1,648,176	0.001383	0.002326
<b>Sassari</b>	494,471	493,788	492,642	0.005175	0.006925
<b>Nuoro</b>	213,086	211,989	210,531	0.005328	0.004371
<b>Oristano</b>	160,766	159,914	159,218	0.006022	0.006172
<b>Sud de la Sardaigne</b>	358,158	356,014	353,830	0.000526	-0.00122
<b>Ville métropolitaine de Cagliari</b>	431,657	431,430	431,955	0.003026	0.003009

Tableau 23 - Années de population 2016-2017-2018 par province (ISTAT)

La Figure 75 montre graphiquement la distribution de la population dans les provinces en se référant à l'année 2018.

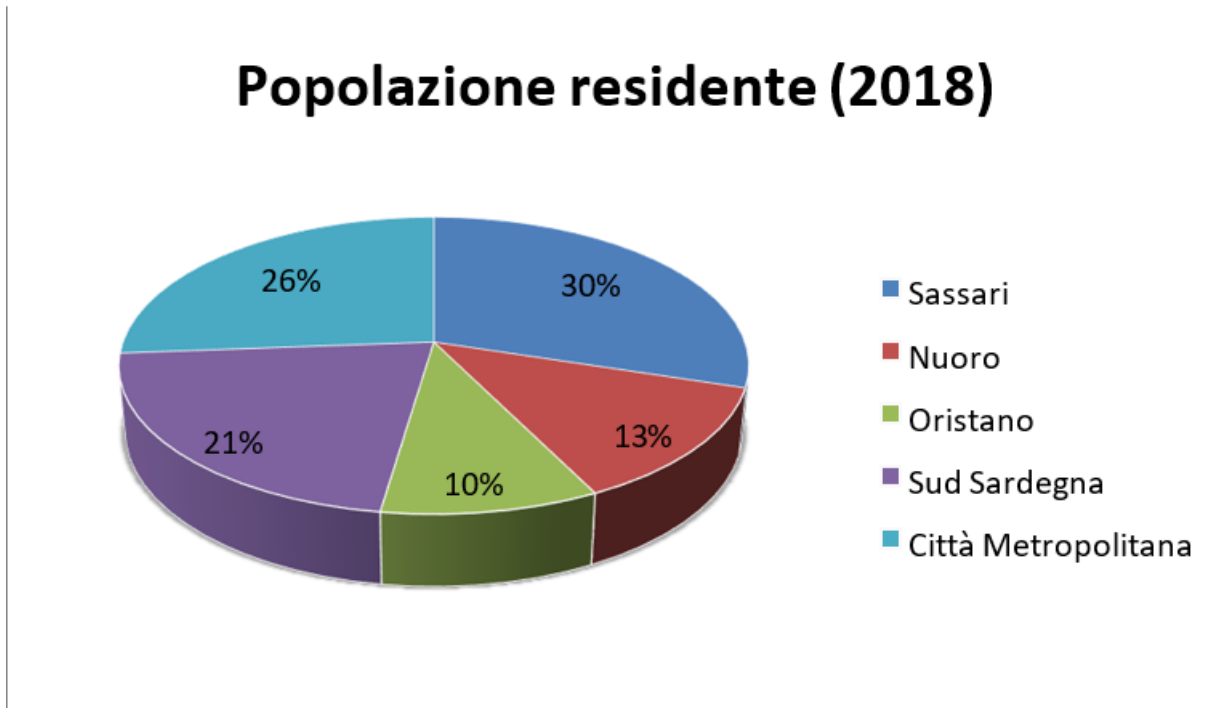


Figure 75 - Distribution de la population dans les provinces de la Sardaigne\_2018 (ISTAT).

Le système de peuplement de la Sardaigne présente des polarités urbaines à des degrés divers:

- les trois principales polarités des zones urbaines de Cagliari, Sassari-Alghero et Olbia, dans lesquelles l'intégration du secteur touristique aux autres secteurs productifs et au secteur tertiaire institutionnel et commercial a déterminé une organisation spatiale typique d'une ville diffuse;
- les polarités secondaires de Nuoro, Oristano, Iglesias-Carbonia, Tempio-Ozieri, Muravera et Tortolì, centres de référence des sous-systèmes locaux d'établissement;
- le système multipolaire des implantations dans la zone du Campidano, qui tend à configurer un axe urbain continu entre Cagliari et Oristano;
- le système touristique côtier, qui a acquis un potentiel démographique considérable en termes absolus et encore plus important en termes relatifs que celui du territoire intérieur; la structure de peuplement de la bande côtière est caractérisée par des poids plus accentués et des structures d'organisation territoriale plus consolidées sur le côté est, mais des tendances à l'expansion et au renforcement sont également clairement reconnaissables dans le reste du périmètre de l'île.



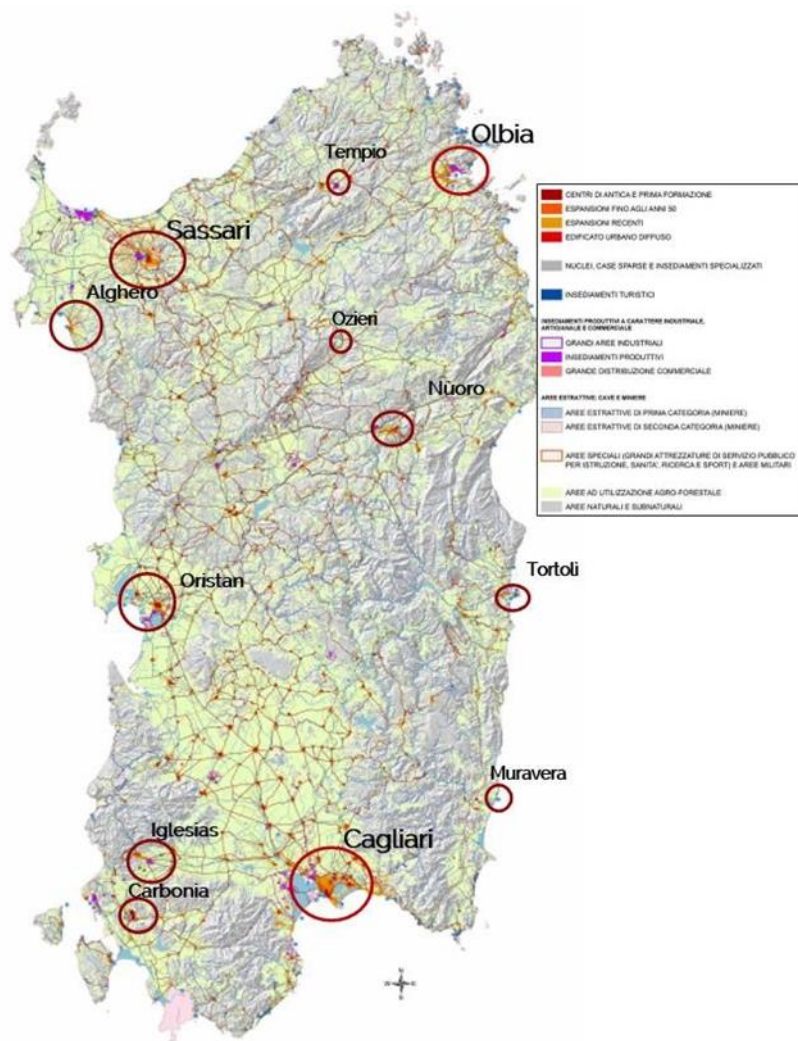


Figure 76- Cartographie de la structure de peuplement de la Sardaigne <sup>21</sup>

### 3.3 Le contexte du transport

Pour aider à la planification du réseau de distribution de GNL en Sardaigne, le contexte régional des transports est analysé ci-dessous en relation avec les systèmes aéroportuaire, ferroviaire, portuaire et routier. Une attention particulière sera accordée au système portuaire et routier dont dépend la distribution interne du GNL dans la région.

#### 3.3.1 Connexion au monde extérieur

Le tracé du système global de transport relie la Sardaigne au nord du continent italien et européen (itinéraire longitudinal tyrrhénien) et au centre (itinéraire transversal).

<sup>21</sup> Plan de paysage régional - Plan de peuplement Tableau 4 (Région autonome de Sardaigne)

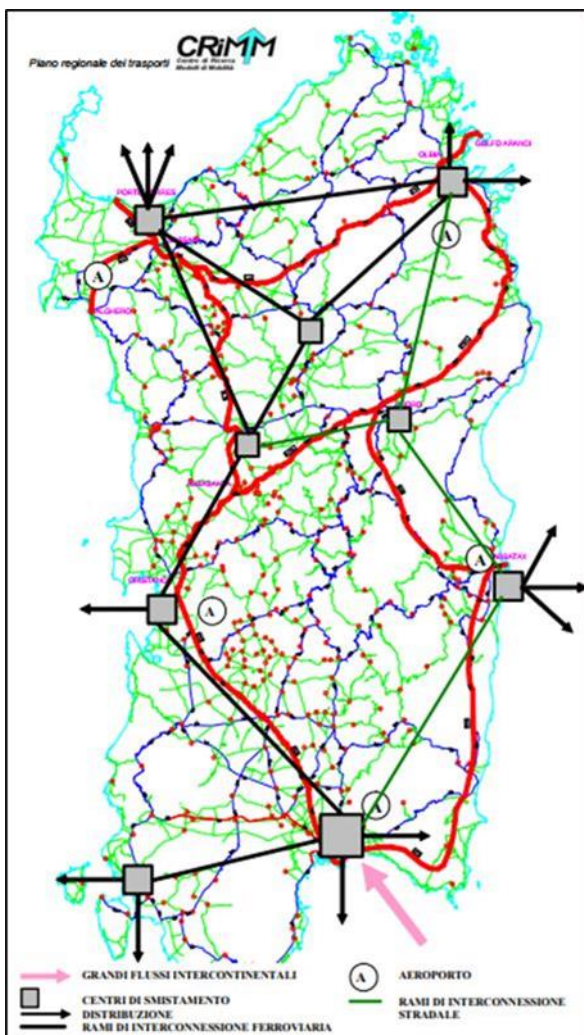


Figure 77 - Structure Node-Region-Ville (Source: Cirem - Plan de transport régional)

Dans ce contexte, les principales portes de continuité des routes multimodales (passagers et marchandises) sont représentées par les systèmes d'établissement et de transport de Cagliari (ville, port, aéroport, zone industrielle), de Sassari-Alghero-Porto Torres (ville, port, aéroport, zone industrielle) et d'Olbia-Golfo Aranci (port, aéroport).

Une telle approche permet d'identifier un système de transport avec un premier niveau de service, dit d'intégration européenne, nationale et régionale, composé des lignes de force qui constituent les arcs, les nœuds et les services réguliers appartenant au corridor multimodal Sardaigne/Continent. La Sardaigne, en vertu de sa position barycentrique en Méditerranée, aspire, grâce à la forte interconnexion entre ses aéroports et entre ceux-ci et les autres réalités régionales, à se proposer comme nœud unique d'un plus vaste réseau de transport aérien national et international, de manière à accroître son potentiel économique et social en matière de relations extérieures.

Dans le contexte des infrastructures régionales de transport, le système portuaire sarde est un élément fondamental pour garantir la continuité territoriale des citoyens de l'île et l'un des facteurs les plus importants dont dépend une grande partie de l'économie de l'île, étant donné que la quasi-totalité des échanges à destination et en provenance de l'île s'effectue par voie maritime.

### 3.3.2 Le système de transport maritime

Le système de transport maritime/portuaire, avec le système aérien/aéroportuaire, joue un rôle décisif dans le scénario de transport sarde.

En effet, les nœuds portuaires régionaux jouent un rôle stratégique en tant que "portes" de continuité des lignes de transport sur lesquelles s'appuient les voies de connexion privilégiées et leurs infrastructures et services doivent être en mesure de satisfaire à la fois les besoins du transport de marchandises et de passagers.



Figure 78- Le système portuaire de la Sardaigne

La classification des ports en Sardaigne est la suivante

- I Classe, importance économique internationale
- Port de Cagliari, composé du port commercial (pour le trafic passagers et mixte passagers/cargos, croisières, plaisance et pêche), de l'escale industrielle (dite Porto Canale), actuellement en service pour le trafic de conteneurs et de vrac et avec une escale pour les navires RO-RO et mixtes RO-RO/conteneurs, et du terminal industriel de Sarroch - Porto Foxi, pour un total de 17 postes d'amarrage;
- Port d'Olbia, composé du complexe portuaire commercial et industriel d'Olbia et du terminal commercial et ferroviaire de Golfo Aranci;



- Porto di Porto Torres, composé du port commercial et du port industriel qui soutient la zone correspondante et, en particulier, les raffineries situées dans l'arrière-pays du port;
- Classe II, importance économique nationale:
- Port d'Oristano-Santa Giusta: situé sur le côté ouest de l'île, il est actuellement utilisé uniquement pour la manutention de marchandises (principalement du vrac sec et liquide).
- III Classe d'importance économique régionale et interrégionale:
- Palau,
- La Maddalena
- Carloforte
- Portovesme
- Santa Teresa di Gallura

L'ensemble du réseau est caractérisé par une forte variabilité du trafic saisonnier, déterminée par la forte concentration des flux touristiques en période estivale. Au cours de cette période, en effet, de nouvelles connexions sont activées, de nouveaux navires sont introduits et des escales supplémentaires sont prévues. Il existe une nette différence dans les niveaux d'offre de liaisons entre les ports du nord et du sud de la Sardaigne: en effet, le nombre de liaisons de navires mixtes passagers-fret dans le corridor à partir des ports d'Olbia, de Golfo Aranci et de Porto Torres représente environ 90% du total. Cela montre comment ces ports représentent le point d'entrée privilégié en Sardaigne, même pour les destinations situées dans le sud de l'île, étant donné les fortes différences de temps de ferry entre les ports de la haute mer Tyrrhénienne et les ports du nord et du sud de la Sardaigne.

### 3.3.3 Le système de transport aérien

L'infrastructure et le service de transport aérien sont l'un des aspects fondamentaux pour une réalité insulaire telle que la Sardaigne. Avec le transport maritime, c'est l'une des composantes essentielles pour la création du corridor multimodal entre la Sardaigne et le continent, qui garantira la "continuité territoriale" nécessaire et indispensable aux politiques de développement économique, social et territorial de la région.

L'infrastructure aérienne de la Sardaigne est constituée des aéroports de Cagliari - Elmas, Olbia - Costa Smeralda et Alghero.





Figure 79- Carte des principaux aéroports de Sardaigne (Source: Sardegna Mobilità)

### 3.3.4 Connexions internes

#### 3.3.4.1 Le système de transport ferroviaire

Le réseau ferroviaire sarde a une longueur d'environ 1 035 km, dont 432 km à voie normale (dont 50 km à double voie - Cagliari/San Gavino) et 609 km à voie étroite. Les opérations ferroviaires sur l'île sont actuellement la responsabilité de deux sociétés, respectivement le groupe Trenitalia S.p.A., avec les quatre lignes ferroviaires à voie normale qui constituent le réseau principal de l'île, et ARST S.p.A., qui gère les cinq autres lignes de transport public, toutes à voie étroite, qui constituent le réseau secondaire, soit 205 km. En Sardaigne, le transport interne de marchandises est entièrement confié au transport routier, puisque depuis 2008 le mode ferroviaire a été abandonné par RFI. L'expédition et l'arrivée des marchandises par les Ferrovie dello Stato avaient lieu exclusivement dans 17 gares

qualifiées pour le trafic de marchandises, dont seulement 14 étaient opérationnelles toute l'année et 3 étaient saisonnières (Villasor, Serramanna et Samassi).

Les stations autorisées dans la région sont réparties comme suit:



- dans la province de Cagliari: Cagliari, Elmas Intermodal, Decimomannu, Villasor;
- dans la province de Carbonia Iglesias: Carbonia;
- dans la province de Medio Campidano; Samassi, San Gavino, Sanluri Stato, Serramanna;
- dans la province d'Oristano: Oristano;
- dans la province de Nuoro: Macomer Campeda;
- dans la province de Sassari: Sassari, Porto Torres, Ozieri Chilivani;
- dans la province d'Olbia Tempio: Monti, Telti, Olbia.

En outre, il y a l'ancien terminal maritime de Golfo Aranci.

Le réseau n'est pas électrifié et le système de traction est diesel. L'ensemble du réseau est équipé de SSC (Conduct Support Systems) et d'un système de contrôle

centralisé du trafic (CTC).

L'analyse du système ferroviaire régional dédié au transport de marchandises revêt une importance particulière dans le cadre de ce projet. Les ports destinés à la construction de terminaux de regazéification en Sardaigne, comme déjà exprimé précédemment, seront ceux d'Oristano et de Cagliari et le processus d'autorisation est en cours pour que le port de Porto Torres puisse également accueillir ce type d'infrastructure. En outre, dans la municipalité de Villacidro, un projet a été lancé pour la construction de la première station-service GNL et GNC de Sardaigne.

Les localités susmentionnées ont un dénominateur commun: elles sont reliées au réseau ferroviaire régional. Dans un contexte d'infrastructures routières tel que celui de la Sardaigne, il est souhaitable d'identifier le transport ferroviaire comme un système alternatif au transport de marchandises par route. Comme on le sait, cette dernière s'effectue principalement par l'utilisation de poids lourds, dont la présence sur le système routier a un impact négatif sur son efficacité et sa fonctionnalité. La solution logistique consistant à transporter le GNL par convois ferroviaires serait une alternative avantageuse en termes de réduction des émissions liées à la fourniture du produit, ainsi qu'en termes de sécurité et de coûts de transport. Cette solution peut également être envisagée pour les bassins d'approvisionnement vers les bassins de consommation qui ne sont pas directement

desservis par le réseau ferroviaire, en considérant l'hypothèse d'un transport de conteneurs conteneurisés (Isotank) par le rail, puis d'un échange modal par la route pour le dernier tronçon du parcours.

### 3.3.4.2 Le système de transport routier

Le schéma original des infrastructures routières en Sardaigne est basé sur trois routes romaines qui traversaient le territoire longitudinalement: à l'ouest (l'actuelle S.S. n°131), sur la côte est (l'actuelle S.S. n°125) et au centre à travers les zones intérieures. Ces routes étaient, et sont, reliées au nord (les actuelles S.S. n°200 et S.S. n°127) et au sud (S.S. n°130, S.S. n°195 et SP n°17) par des routes transversales proches de la côte. À l'exception des routes intérieures, cette conception a été considérablement renforcée au fil du temps. L'itinéraire occidental Cagliari-Oristano-Sassari-Porto Torres, a assumé au fil du temps le rôle d'axe principal, desservi par le S.S. n°131. Avec l'épine dorsale ferroviaire FF.SS., les ports et les aéroports de la région de Cagliari et de Sassari, cela définit le "Corridor multimodal Sardaigne - Continent".

Depuis les années 60, le système est intégré à une autre branche fondamentale (S.S.131 DCN), qui met les terminaux portuaires et aéroportuaires d'Olbia-Golfo Aranci en communication rapide avec le corridor susmentionné. Les zones intérieures du nord de l'île sont traversées non seulement par cet itinéraire, mais aussi par des liaisons ferroviaires et routières (S.S. n°597 et S.S. n°199) le long de l'itinéraire Sassari-Monti-Olbia. Le schéma du réseau montre clairement un manque d'infrastructures dans la partie centrale et sud de l'île. L'analyse de la densité territoriale de la dotation en infrastructures montre une couverture territoriale limitée par rapport à la moyenne nationale.

Régions	Routes régionales et provinciales [km]	Autres routes d'intérêt national [km].	Autoroutes [km]	Routes régionales et provinciales [km/10 000 hab.]	Autres routes d'intérêt national [km/10 000 hab.]	Routes régionales et provinciales [km/100 km <sup>2</sup> ]	Autres routes d'intérêt national [km/100 km <sup>2</sup> ].	Routes régionales et provinciales [km/10 000 voitures sur la route].	Autres routes d'intérêt national [km/10 000 voitures sur la route].
Sardaigne	6.111	2.936	0	36,7	17,7	25,4	12,2	60,4	29
Italie	155.668	21.686	6.943	26	4	52	7	42	6

Tableau 24- Dotation en infrastructures routières de la Région Sardaigne (valeurs absolues) - CNIT 2015-2016

Régions	Routes régionales et provinciales [km]	Autres routes d'intérêt national [km].	Autoroutes [km]	Routes régionales et provinciales [km/10 000]	Autres routes d'intérêt national [km/10 000 hab.]	Routes régionales et provinciales [km/100 km <sup>2</sup> ]	Autres routes d'intérêt national [km/100 km <sup>2</sup> ].	Routes régionales et provinciales [km/10 000 voitures sur la route].	Autres routes d'intérêt national [km/10 000 voitures sur la route].
<b>Sardaigne</b>	3,93	13,54	-	143,49	494,85	49,10	169,34	144,89	499,69
<b>Italie</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

Tableau 25- Dotation en infrastructures routières de la Région Sardaigne (indicateurs) - CNIT 2015-2016

En raison de la faible densité de population qui caractérise l'île, les indicateurs apparaissent plutôt fortement augmentés par rapport à la moyenne italienne si on les rapporte à l'ensemble de la population. En ce qui concerne la classification fonctionnelle du réseau routier sarde, le PRT prévoit la subdivision des infrastructures routières en quatre catégories:

- le **réseau fondamental**, qui identifie le grand réseau de niveau national et européen reliant les capitales provinciales et les nœuds d'échange avec le monde extérieur.
- le réseau de **premier niveau** d'intérêt régional (et de connexion nationale) ayant pour fonction de connecter les nouvelles provinces et les centres urbains de référence entre eux et avec les principaux nœuds d'échange pour compléter le réseau fondamental.
- le réseau de **deuxième niveau** d'intérêt régional (et de connexion nationale) avec les fonctions directrices de connectivité pour les nouvelles provinces et le système urbain relatif de référence et de connexion et/ou de liaison avec le réseau de premier niveau.
- le réseau de **troisième niveau** d'intérêt régional (et de connexion nationale);
- le réseau des niveaux d'intérêt sous-régional et provincial, pour compléter le maillage du réseau provincial et local, qui doit notamment créer les connexions de la zone locale en référence au schéma d'aménagement du territoire de la zone (connexion entre la côte et les zones intérieures, etc.).



**Legenda**  
 Rete di trasporto stradale  
 ■ RETE FONDAMENTALE  
 ■ REGIONALE LIVELLO 1  
 ■ REGIONALE LIVELLO 2  
 ■ REGIONALE LIVELLO 3

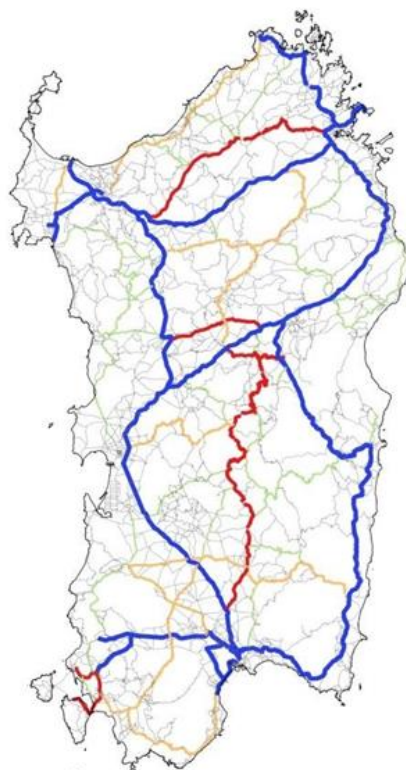


Figure 80- Réseau routier en Sardaigne

Le tableau 12 présente l'extension totale des routes étatiques et provinciales présentes sur le territoire régional, réparties dans les zones correspondant à la subdivision provinciale en vigueur jusqu'en 2016. Les km de routes nationales répartis par catégorie d'intérêt (régional et national) sont également précisés en détail.

Province	Routes d'État			Routes provinciales (km)	Total (km)
	Total (km)	Intérêt régional (km)	Intérêt national (km)		
<b>Cagliari</b>	522,714	282,693	240,021	739,049	1.267,763
<b>Campidano moyen</b>	176,225	121,640	54,585	300,507	476,732
<b>Sulcis Iglesiente</b>	132,883	38,621	94,262	306,788	439,671
<b>Oristano</b>	300,937	193,914	107,023	896,852	1.197,789
<b>Nuoro</b>	592,011	321,168	270,843	887,342	1.479,353
<b>Ogliastra</b>	219,510	70,395	149,115	156,943	376,453
<b>Gallura</b>	453,184	256,923	196,261	753,760	1.206,994
<b>Sassari</b>	605,501	463,504	141,997	1.471,684	2.077,185

Tableau 26- Étendue des routes nationales et provinciales en Sardaigne

### 3.4 Analyse de l'accessibilité de la zone d'étude

L'accessibilité exprime la facilité avec laquelle on peut atteindre certaines destinations, à partir d'un point de départ et d'un système de transport. Le concept d'accessibilité reflète l'organisation spatiale et la qualité de l'offre d'infrastructures de transport. Il s'agit d'un concept central dans le contexte de l'évaluation des projets de transport. En termes mathématiques, l'accessibilité est une fonction qui exprime l'attractivité d'une zone. Elle augmente avec sa taille et diminue lorsque le temps ou le coût de déplacement généralisé augmente. Il est possible d'évaluer à la fois l'accessibilité monomodale et l'accessibilité multimodale (accessibilité multimodale).

Le niveau d'accessibilité au territoire par les principales infrastructures de connexion constitue une donnée importante, utile pour identifier à la fois les zones ayant la plus grande possibilité d'accès et les éventuelles criticités représentées, par exemple, par les zones ayant une valeur élevée de consommation de GNL prévue, mais ayant des difficultés d'accès au système portuaire régional. Afin d'obtenir des valeurs temporelles fiables, le modèle utilisé limite la vitesse maximale sur le réseau routier de la région à 80 km/h, c'est-à-dire la vitesse maximale autorisée pour les véhicules lourds. Cette vitesse est évidemment conditionnée par les caractéristiques des infrastructures et la quantité de trafic que l'on peut évaluer grâce au modèle de trafic.

#### 3.4.1 Accessibilité aux principaux aéroports

L'aéroport de Cagliari est le principal aéroport de Sardaigne, tant en termes de volume de trafic de passagers et de fret qu'en termes d'importance stratégique et de zone d'attraction potentielle,

L'aéroport d'Olbia est le deuxième aéroport de Sardaigne en termes d'importance et de volume de trafic traité. L'aéroport se trouve à environ 3 km du centre ville. Les liaisons avec l'extérieur sont principalement assurées par la S.S. 131 D.C.N., qui relie l'aéroport à Nuoro et ensuite, à travers la jonction avec la S.S. 131, au reste du réseau routier régional; par la S.S. 125, qui traverse toute la côte orientale; par la S.S. 199, qui relie l'aéroport à Sassari et ensuite à la S.S. 131.

Ces dernières années, l'aéroport d'Alghero est devenu un point de référence pour le trafic aérien du nord-ouest de la Sardaigne et pour une partie des provinces de Nuoro et d'Oristano, notamment grâce à l'offre low cost. L'aéroport se trouve à 12 km du centre-ville d'Alghero et à environ 25 km de Sassari. Les liaisons avec le reste du territoire régional se font principalement par la route qui relie Alghero à Sassari (la S.S. 291) et par le réseau de routes provinciales qui relie l'aéroport à Alghero et à la côte (S.P. 5, S.P. 42 et S.P. 44).

### 3.4.2 Accessibilité aux principaux ports

Pour l'analyse de l'accessibilité aux ports sardes, les ports de Cagliari, Oristano et Porto Torres ont été considérés. Ce choix est dû à l'hypothèse la plus probable d'une localisation future des dépôts de GNL dans ces pôles. Il est donc essentiel d'étudier le temps de trajet nécessaire pour atteindre les points d'approvisionnement en GNL pour les camions-citernes qui distribueront ensuite le gaz dans les bassins de consommation. L'accessibilité est évaluée en termes de temps de trajet, et donc de distance virtuelle.

La Figure 81 référence à l'heure de pointe (8:00-9:00), les isochrones de 15 minutes représentant les temps de parcours minimaux pour les véhicules lourds en provenance des ports de Porto Torres, Oristano et Cagliari, avec le réseau chargé.

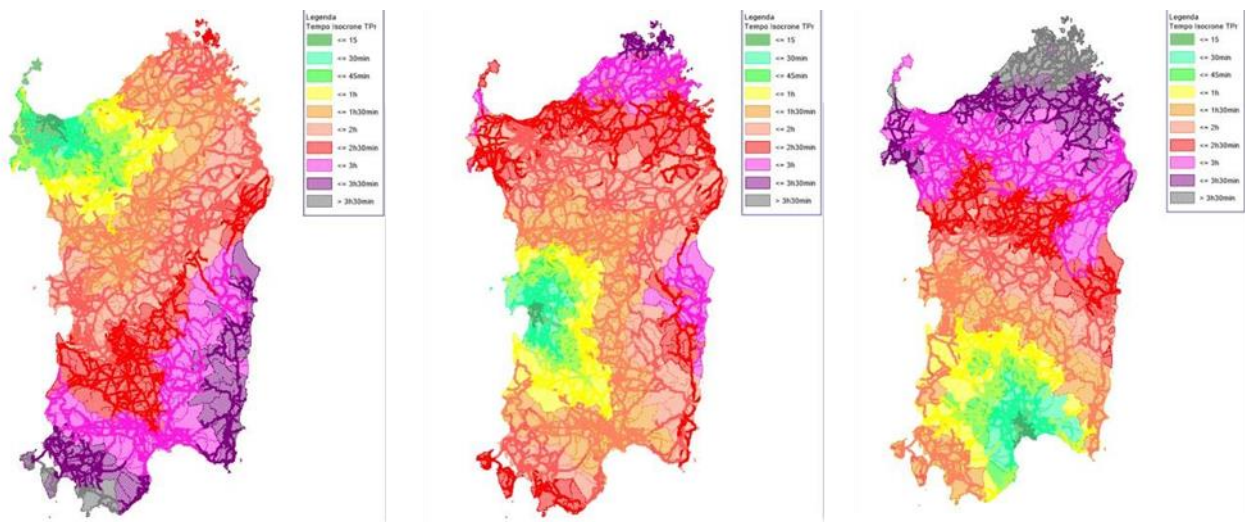


Figure 81 - Isochrones 15' des ports sardes (de gauche à droite, Porto Torres, Oristano, Cagliari)

Comme on peut le voir sur la Figure 81, l'isochronie de 30 minutes de Cagliari s'étend au nord, le long de la SS131, jusqu'à Sanluri, à l'ouest le long de la SS130, jusqu'à Siliqua, à l'est le long de la SS125, jusqu'à la municipalité de Sinnai. En bref, à l'intérieur de l'isochronie 30', on trouve toutes les communes de la vaste zone métropolitaine et de la première bande de gravitation, ainsi que certains nœuds industriels importants (Assemini-Macchiareddu). Dans la zone de 60 minutes, de nombreuses municipalités forment une zone qui s'étend vers le nord, le long de la SS 131, jusqu'au port d'Oristano, vers l'ouest, le long de la 130, jusqu'à la municipalité d'Iglesias, et vers l'est jusqu'à Castiadas, que l'on peut rejoindre par la SS 125. Parmi les centres urbains à l'intérieur de la deuxième isochrone, on trouve Sarroch, siège d'importantes installations industrielles, certaines municipalités du territoire du Sulcis-Iglesiente, siège d'établissements miniers et industriels historiques. Les deuxième et troisième isochrones comprennent une grande partie de la côte sud-ouest de la Sardaigne et toute la zone du Campidano supérieur. Dans les troisième et quatrième isochrones se trouvent des centres tels que Pula et Domus de Maria à l'ouest,

mais aussi Castiadas et Villasimius à l'est, qui enregistrent le plus grand nombre de présences touristiques dans le sud de la Sardaigne pendant les mois d'été. Dans l'isochronie de 90 minutes se trouve presque tout le territoire de l'Oristanais qui gravite autour de la SS 131, y compris la capitale et le port voisin. Les communes périphériques de la province de Sulcis-Iglesiente, telles que Carloforte, S.Antioco et Calasetta, ainsi que d'importants établissements industriels (Portovesme) appartiennent à cet isochrone; du côté est, l'isochrone comprend les centres de Muravera, San Vito et Villaputzu, que l'on peut rejoindre par la SS125.

L'isochrone de 15 minutes d'Oristano s'étend sur tout le territoire urbain jusqu'à atteindre la municipalité de Cabras. Le deuxième isochrone, qui s'étend le long de la SS 131, s'étend vers le sud jusqu'à la commune de Sardara et vers le nord-est jusqu'à Paulilatino. L'ensemble de la bande incluse dans les 30 minutes comprend plusieurs centres urbains dont Terralba et Arborea (siège d'une importante industrie laitière). L'isochronie de 45 minutes comprend les centres habités de Sanluri, San Gavino, Ghilarza et la zone industrielle de Tossilo-Macomer. La quatrième bande est représentée par une zone qui comprend les villes de Villacidro et de Guspini jusqu'à atteindre, par la SS 131, en direction du sud la municipalité de Sestu et en direction du nord le centre urbain de Macomer. La quatrième zone comprend la commune d'Ottana, que l'on peut rejoindre par la SS 131 DCN. Les communes situées dans la cinquième bande (à moins de 90 minutes) sont Cagliari, Sassari (SS 131) et Nuoro (SS 131 DCN).

L'isochrone 30' de Porto Torres s'étend vers le sud le long de la SS 131 jusqu'à la jonction avec la SS 729 (Sassari-Olbia), comprenant les villes de Sassari et Sorso et atteignant au sud-ouest l'aéroport d'Alghero-Fertilia. Alghero et Chilivani appartiennent à la troisième gamme (45 minutes de trajet). Les villes que l'on peut atteindre en 60 à 90 minutes sont Tempio Pausania (SS 127) et Castelsardo (SS 200), Olbia (SS729 et SS 597) à l'est, Ozieri au sud-est et Macomer, Abbasanta et Ottana (SS131 et SS 131 DCN) au sud.

Les trois figures montrent que la partie centre-est de la Sardaigne est la plus éloignée du système portuaire décrit ci-dessus; en effet, la plupart des territoires sont caractérisés par des temps de trajet pour atteindre le port le plus proche supérieurs à 2 heures. D'une manière générale, cette partie du territoire est pénalisée par des caractéristiques plano-altimétriques qui rendent les parcours particulièrement tortueux. Une autre cause peut être attribuée à l'insuffisance des infrastructures routières en termes de caractéristiques techniques, particulièrement marquée dans cette zone.

### 3.5 Le port de Cagliari

Le système portuaire de Cagliari est situé au milieu du golfe homonyme et se compose de trois bassins portuaires, autonomes tant du point de vue physique que fonctionnel, sur lesquels retombent les compétences de l'Autorité du système portuaire de la mer de Sardaigne, établie selon le décret législatif 169/2016. Les trois bassins sont:



- Le **port commercial** (vieux port), à l'intérieur de la ville, est principalement caractérisé par le trafic de passagers, le fret Ro-Ro, le trafic de vrac solide (céréales et minéraux en particulier) et le trafic de croisière. Certaines portions du plan d'eau sont également dédiées à la plaisance, à la construction navale et aux bateaux de pêche. Le port commercial est divisé en deux zones aux caractéristiques fonctionnelles différentes: le bassin ouest et le bassin est. Le bassin ouest est principalement utilisé pour des activités commerciales, tandis que le bassin est est utilisé exclusivement pour la navigation de plaisance, les bateaux de pêche, la construction navale et le débarquement de navires militaires. À l'intérieur du bassin occidental se trouve le Molo Rinascita, depuis 2016 terminal de croisière géré par la société Cagliari Cruise Port.
- Le **port industriel** (Porto Canale), spécialisé dans la réception et la manutention de conteneurs, principalement le transbordement et, marginalement, le cabotage.
- Le **terminal pétrochimique**, situé dans les municipalités de Capoterra et Sarroch, qui traite en moyenne environ 25 millions de tonnes de marchandises liquides en vrac, principalement des produits pétroliers et, dans une moindre mesure, des produits chimiques.



Figure 82- Orthophoto du vieux port (Cagliari)

Le "vieux port" est délimité par deux brise-lames extérieurs, le brise-lames occidental et le brise-lames oriental, et par un brise-lames intérieur, la jetée Ichnusa.

Elle est ainsi divisée en trois bassins:

*Bacino di Ponente (bassin occidental)*, compris entre la digue occidentale et le Molo Sabauda; il englobe la zone commerciale du vieux port, aujourd'hui utilisée pour le trafic intense de marchandises (avec les navires Ro-Ro) et de passagers (avec les navires de croisière réguliers ou en transit).

*Intérieur du port*, entre le Molo Sabauda et le Molo Ichnusa;

*Bacino di Levante*, entre la jetée Ichnusa et la digue orientale.

La surface de l'eau couvre un total de 2 065 000 m<sup>2</sup>, avec une profondeur allant jusqu'à 12 mètres, la surface terrestre est de 333 250 m<sup>2</sup>, et le littoral du port est de plus de 11 000 m, dont 4 800 m sont à quai.

À l'intérieur des brise-lames du port commercial, il y a un peu plus de 7 km de développement du front de mer, dont 2 400 m pour les opérations commerciales et le trafic de passagers.

Accessibilité maritime	Profondeur du fond marin (mètres)	3-15
Pull over	Numéro	16
	Longueur totale (mètres)	6.122
	Surface totale des quais	679.529
	Nombre de voies d'évitement équipées de rails	-
Nombre de postes d'amarrage effectuant des services de:	Passagers	5
	Ro-ro	4
	Diporto	6
	Moyens de service	2
	Amarrage pour les navires militaires	2

Tableau 27- Caractéristiques du port de Cagliari

Le port-canal a été désigné comme un pôle de transfert pour d'autres formes de transport, en particulier pour les catégories de marchandises liées au vrac et pour le système Ro-Ro lui-même. Le Porto Canale de Cagliari présente le schéma typique du port de canal, avec un large avant-poste délimité par deux brise-lames extérieurs convergents de 2 020 mètres de long chacun. La surface de l'eau est d'environ 3.000.000 de mètres carrés. Actuellement, seul le côté est du port est amarré, et il présente, dans la partie initiale, à environ 2.000 mètres de l'entrée du port, un quai pour les services, dont les dimensions sont de 140x70 mètres, avec une profondeur de 6 mètres. Immédiatement en succession il rencontre un module banquinato pour navires Ro.Ro. avec relative dent d'accostage et, donc, le Terminal



de transbordement de conteneurs que, uni Gioia Tauro et Taranto, constitue un des trois ports de transbordement du système national.

### 3.5.1 Routes d'accès

Les liaisons du port avec l'arrière-pays sont assurées par les routes nationales 195, 130, 131, 389, 125. Le port de Cagliari est relié par la SS 131 à l'ouest au port d'Oristano (96 km), au nord-ouest à la ville de Porto Torres (235 km) et au nord-est à la ville d'Olbia (263 km). Les gares de la State Railways et de la Regional Transport Company sont adjacentes à la zone portuaire.

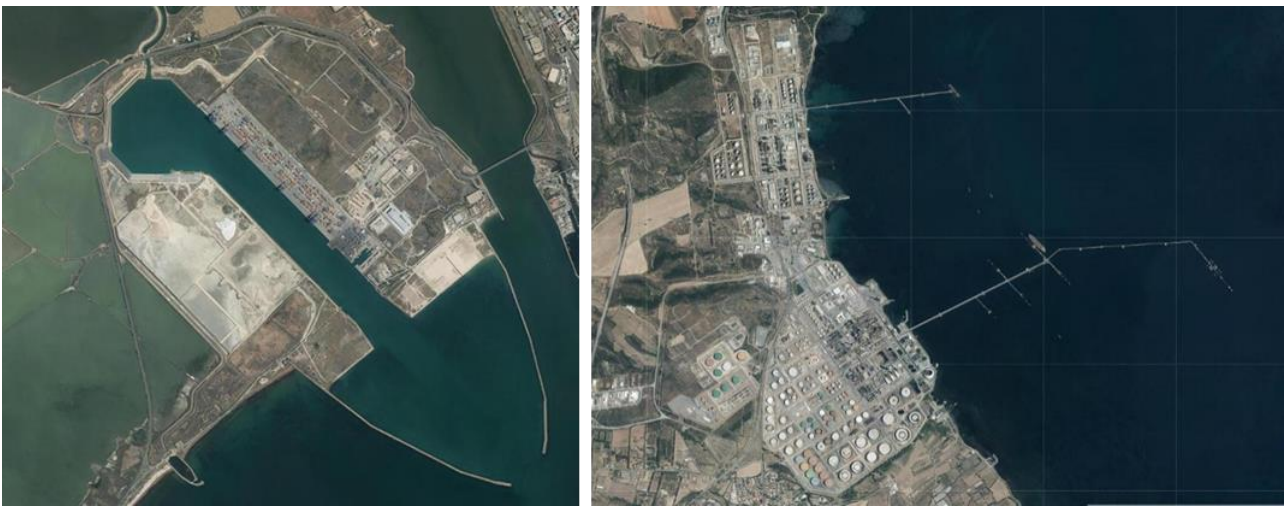


Figure 83- Orthophoto du port du canal (sn) et du pôle pétrochimique (dx)

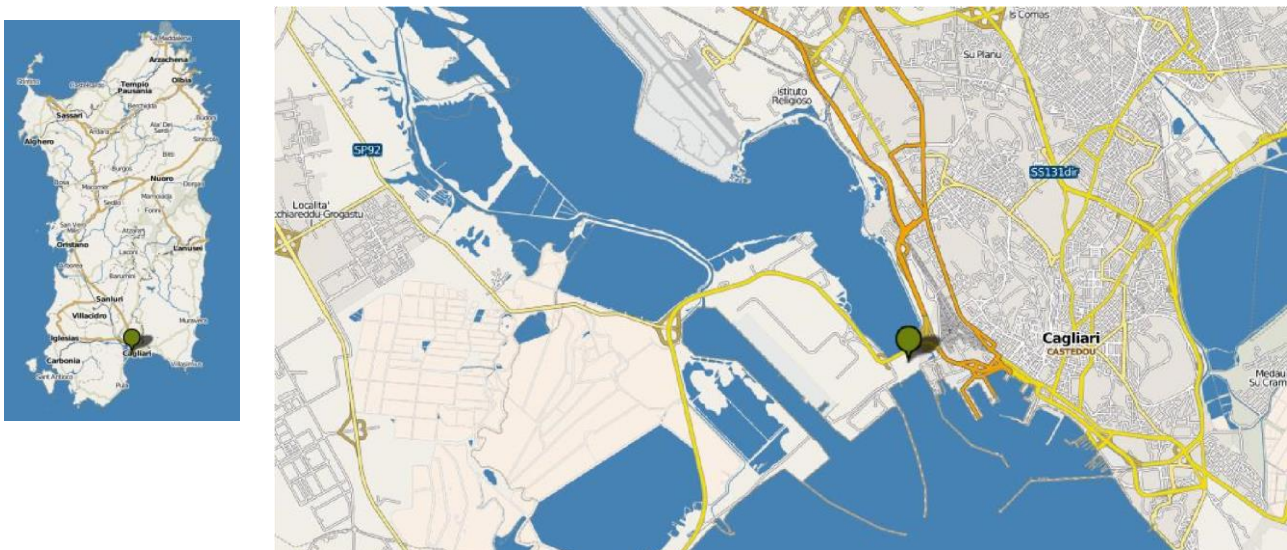


Figure 84- Routes d'accès au port de Cagliari

### 3.6 Le port de Porto Torres

Le port de Porto Torres est le deuxième port d'escale en Sardaigne, en termes de passagers, et le premier en termes de marchandises. Il comprend: le port civil (pour les navires rouliers de passagers et de marchandises et le trafic de plaisance), le port industriel (les quais dits ASI et les deux anciens quais d'Enichem, aujourd'hui Polimeri Europa, le quai des liquides et le quai des cargaisons sèches, qui ne sont plus utilisés), et le terminal E.ON anciennement Endesa, sur le brise-lames, pour les combustibles solides (principalement le charbon) et liquides (fuel) destinés à la centrale électrique.

Le port civique, qui reprend en partie l'ancien port médiéval (le port romain était situé à l'embouchure du Rio Mannu), a été récemment restructuré et comprend actuellement la jetée ouest, avec trois postes d'amarrage Ro-Ro de plus de 200 mètres, le quai du téléphérique avec un poste d'amarrage Ro-Ro, le quai Segni/customs de plus de 300 mètres pour les bateaux de croisière, le quai en eau profonde avec un poste d'amarrage Ro-Ro.

Dans le bassin de la Capitaneria est aménagée la marina avec environ 400 places à quai et sur des quais flottants. Les travaux en cours permettront d'augmenter la disponibilité des postes d'amarrage.



Figure 85- Orthophoto du port commercial de Porto Torres



Accessibilité maritime	Profondeur du fond marin (mètres)	8÷13
Pull over	Numéro	13
	Longueur totale (mètres)	4.735
	Surface totale des quais	138.597
	Nombre de voies d'évitement équipées de rails	-
Nombre de postes d'amarrage effectuant des services de:	Passagers	9
	Ro-ro	9
	Diporto	-
	Moyens de service	5
	Amarrage pour les navires militaires	5

Tableau 28- Caractéristiques infrastructurelles du port de Porto Torres

Le quai ouest est l'extrémité la plus occidentale du port. Actuellement en cours d'agrandissement, il pourra accueillir plus de quatre grands navires, jusqu'à 300 mètres de long.

Le port de Porto Torres compte un total de 9 quais, 6 dans le port commercial, dont 2 pour les passagers et le fret Ro-Ro, et 3 dans le port industriel, dont 1 pour les ferries de passagers de dernière génération, qui ne peuvent pas s'amarrer dans l'ancien port commercial en raison de leur longueur et de leur tirant d'eau. L'infrastructure est caractérisée par 2 postes d'amarrage Ro-Ro pour un total de 1 050 mètres. La profondeur des fonds marins varie de 14 mt à 8 mt. Le port industriel<sup>22</sup> est protégé par un brise-lames à trois branches de 3 950 m de long avec des quais intérieurs, la jetée orientale avec des quais intérieurs, le quai de service et deux jetées Syndial. Le quai de service est réservé aux bateaux utilisés pour les services portuaires.

<sup>22</sup> <https://www.pagineazzurre.com/porti-della-sardegna/porto-torres-porto-industriale/>

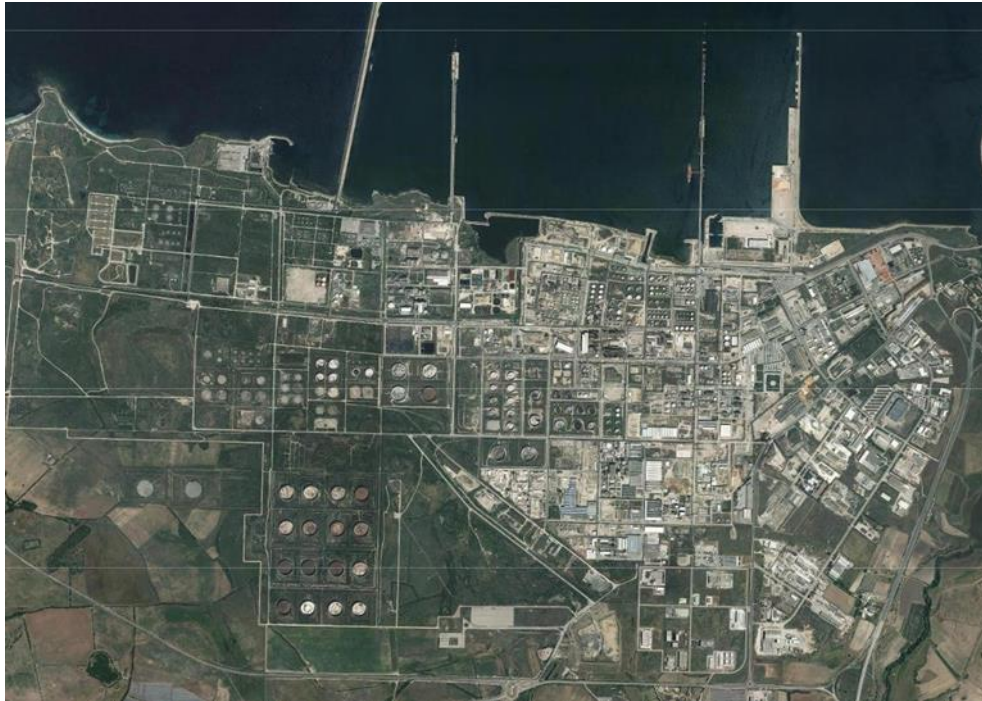


Figure 86- Orthophoto du port industriel de Porto Torres

### 3.6.1 Routes d'accès

La principale liaison avec le port est la SS 131 (route européenne E25). Le port est desservi par les Ferrovie dello Stato (Chemins de fer italiens) sur la ligne Ozieri Chilivani - Porto Torres, avec un arrêt spécifique à Porto Torres Stazione Marittima construit juste à l'intérieur du port commercial. La ligne ferroviaire relie le port aux villes de Sassari, Olbia et Cagliari. En outre, les lignes de bus régionales ARST relient le port à Alghero (également aéroport), Stintino, Osilo et Sorso.



Figure 87- Carte des routes d'accès au port de Porto Torres

### 3.7 Le port d'Oristano

Elle est située au centre du golfe du même nom, entre l'étang de Santa Giusta et la mer sur le côté sud-ouest, elle donne sur un large canal navigable, elle a une spécialisation industrielle, directement liée aux activités entrepreneuriales situées à l'intérieur, et une spécialisation commerciale, liée à la manutention de marchandises en vrac. Il dispose de plus de 20 hectares de chantiers équipés et d'environ 1 600 mètres de quais. Les principaux mouvements qui intéressent le port, outre les matières premières et les produits dérivés de l'activité productive des entreprises du consortium (liquides chimiques, bentonite, céréales, produits alimentaires, bois, ciment, etc.), en particulier ceux qui font face au canal navigable, concernent également des marchandises comme le charbon, les fibres acryliques, les polyesters minéraux et les engrais, confirmant que le port d'Oristano n'a pas seulement la fonction d'escale industrielle.

L'emplacement du port industriel est à considérer comme stratégique sur la route Suez-Gibraltar, dans l'organisation moderne du trafic international. Le port est protégé grâce à sa position à l'intérieur du golfe, et le chenal navigable avec ses 11 mètres de profondeur permet l'accostage de grands navires. Au fil des ans, le port s'est spécialisé dans le traitement des marchandises en vrac et s'est montré capable de satisfaire les besoins du

trafic maritime en général, avec des quais capables de recevoir le trafic d'embarquement et de débarquement des installations de production industrielle.

Sa contiguïté avec l'agglomération industrielle permet au port d'Oristano de remplir une double fonction, ce qui le rend assez flexible en termes d'opérations et de possibilités d'utilisation: d'une part, il remplit les fonctions d'un port commercial moderne avec un niveau élevé de services et de zones pour la manutention des marchandises; d'autre part, il remplit les fonctions d'un port industriel pour les entreprises situées le long du canal navigable, avec la possibilité d'effectuer des opérations d'embarquement et de débarquement dans un régime d'autonomie fonctionnelle.



Figure 88- Orthophoto du port d'Oristano-Santa Giusta

Accessibilité maritime	Profondeur du fond marin (mètres)	Jusqu'à 12
Pull over	Numéro	12
	Longueur totale (mètres)	2.590
	Surface totale des quais	112.117
Nombre de postes d'amarrage effectuant des services de:	Nombre de voies d'évitement équipées de rails	-
	Passagers	2
	Ro-ro	2
	Diporto	-
	Moyens de service	1
	Amarrage pour les navires militaires	-

Tableau 29- Caractéristiques infrastructurelles du port d'Oristano



### 3.7.1 Estimations du trafic de distribution de GNL par les entreprises situées à Oristano

Compte tenu du niveau d'accessibilité et des utilisations possibles du gaz naturel liquéfié analysés dans le plan de localisation des sites de stockage, les principales routes utilisées pour la distribution terrestre du GNL sont les suivantes:

- la route provinciale SP97;
- la route provinciale SP49;
- la route provinciale SP56;
- l'autoroute SS131.

En entrant dans cette dernière, qui représente l'une des principales artères du réseau routier de l'île, il est possible de distribuer du gaz dans toute la Sardaigne. Pour cette raison, en considérant le réseau routier interne du port d'Oristano, nous analyserons les itinéraires à emprunter pour atteindre l'intersection la plus proche, qui permet l'entrée dans la SS131, en partant du point où se trouvent les trois dépôts côtiers.

Les camions-citernes quittant le site d'**Edison S.p.A.** utiliseront les routes internes existantes et les routes provinciales SP97 et SP49 pour rejoindre la SS131, avec une distance totale de 6 km en 7 minutes environ (Figure 89). En partant de l'entrée de la zone choisie, située dans la Via La Maddalena, le projet se poursuivra dans la localité de Cirras sur environ 250 m, puis empruntera la SP97 qui, après environ 2 000 m, rejoindra la SP49. Cette route provinciale, qui se dirige vers le nord sur environ 3 500 m, mènera à l'intersection qui permettra à la route de rejoindre la SS131.

En supposant que pendant l'exploitation de l'installation de stockage, le GNL est distribué exclusivement par des camions-citernes, la société estime une augmentation du trafic local de **16 camions/heure.**



Figure 89 - Route du dépôt de GNL d'Edison S.p.A. - SS131

De même, le dépôt **HIGAS s.r.l.** utilisera le réseau routier existant à l'intérieur du port, ce qui permettra aux camions-citernes d'entrer dans la SS131 en 8 minutes environ et sur une distance d'environ 7 000 mètres. En effet, en traversant la zone de Porto Industriale sur 2 000 m, il sera possible de prendre la SP97 et, après environ 1 200 m, la SP49 au même carrefour où arrivent les pétroliers de la société EDISON S.p.A.. De là, vous atteindrez la route principale après 3 500 m, comme dans le cas précédent (Figure 90).

La société prévoit une augmentation du trafic local de **15 véhicules/heure** pendant l'exploitation du dépôt, en supposant que la distribution soit effectuée exclusivement par des camions-citernes.



Figure 90 - Route du dépôt de GNL de HIGAS s.r.l.. - SS131

La société **IVI Petrolifera** prévoit une série de travaux d'adaptation pour la manutention du GNL à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment. En particulier, sur une superficie totale de 47 180 m<sup>2</sup>, 18 800 m<sup>2</sup> seront utilisés pour les routes et les cours. En parcourant les routes à l'intérieur du port, en passant par Sant'Antioco et ensuite par G. Marongiu, il sera possible de rejoindre la SP97 qui, après 3 000 m en direction du sud-est, conduira à l'intersection avec la SP49, qui est également utilisée par les véhicules des deux autres dépôts. Comme dans les cas précédents, le parcours de 3 500 m au nord conduira à la SS131. La distance totale à parcourir sera d'environ 8 km, pour un temps de trajet de 9 minutes (Figure 91).





Figure 91 - Route du dépôt de GNL d'IVI Petrolifera - SS131

Si l'on analyse maintenant le **trafic maritime** dû à la présence de l'installation de stockage côtier, les estimations faites par les trois sociétés impliquées dans la construction du système de stockage de GNL à Oristano sont indiquées ci-dessous. **Edison S.p.A.** a prévu une augmentation du trafic maritime de 122 navires/an (70 méthaniers et 52 allèges). **HIGAS s.r.l.** a estimé une augmentation de 90 navires/an (40 méthaniers et 50 allèges), tandis que **IVI Petrolifera** a estimé 226 navires/an (220 méthaniers et 6 allèges). Il est clair que la dernière entreprise privilégie la distribution du gaz par voie terrestre et sur le territoire régional. Compte tenu de ces chiffres et des caractéristiques du port et des infrastructures, l'interférence avec le trafic maritime existant est considérée comme mineure.

### 3.8 Perspectives pour le GNL en Sardaigne

Les perspectives actuelles de la méthanisation de la Sardaigne, envisagées par le SEN 2017 et confirmées par les orientations contenues dans le PNIEC (2020), prévoient le transport du méthane sous forme liquide (GNL) par des méthaniers de petite à moyenne taille, qui seront approvisionnés dans les grands terminaux d'importation pour le livrer aux installations de stockage côtières sardes. Dans ce scénario, parallèlement à l'*aval* du méthane sous forme gazeuse, le développement de l'*aval* du GNL chez les utilisateurs finaux est également prévu. Les initiatives en matière d'infrastructures qui ont déjà entamé les procédures d'autorisation reflètent ce modèle et comprennent deux projets de construction du réseau fédérateur pour le transport de gaz naturel et cinq projets d'installations de stockage côtier de GNL, dont deux sont dotés d'installations de



regazéification. Ce cadre comprend également des initiatives visant à permettre aux petits et moyens méthaniers d'approvisionner les installations de stockage sardes. L'analyse de la situation actuelle, en termes de consommation et d'infrastructures, est le point de départ de l'évaluation du potentiel de pénétration du gaz naturel.

Le *mix de la* consommation finale d'énergie en Sardaigne se caractérise aujourd'hui par la prédominance des produits pétroliers (68%), l'effondrement de la consommation du secteur industriel au cours de la dernière décennie, qui a diminué de plus de moitié, et une pénétration de l'électricité et de la biomasse dans le secteur domestique plus élevée qu'en Italie. La présence de la grande raffinerie de Sarroch et la structure unique de la centrale thermoélectrique, qui utilise des produits du charbon et du pétrole, sont très importantes pour l'équilibre énergétique de l'île. La reconstruction des consommations par secteur et par industrie ne permet pas actuellement de prévoir une relance de la consommation d'énergie finale en Sardaigne dans les prochaines années.

La Sardaigne est la région italienne qui a la plus grande présence de réseaux de distribution de gaz autres que le gaz naturel (GPL et air propane), qui se sont développés tant à l'intérieur des bassins prévus par les orientations de planification régionale en vue de la mise en œuvre du GALSI, qu'à travers les initiatives des différentes municipalités. Cette réalité est encore très limitée par rapport aux objectifs de l'aménagement du territoire, avec des niveaux de prix élevés et de faibles niveaux de consommation par utilisateur, comme c'est typiquement le cas pour les réseaux gaziers autres que le gaz naturel. La coordination entre les investissements déjà réalisés et ceux prévus dans le cadre plus large de la méthanisation et la possibilité d'exploiter pleinement le potentiel des réseaux existants, ne sont pas des éléments à prendre pour acquis et dépendent également de l'évolution du cadre législatif et réglementaire.

À ce jour, le développement du cadre juridique et réglementaire se caractérise par les éléments suivants:

- confirmation des incitations au transport par camion et fourniture de nouvelles ressources
- les dépôts et terminaux raccordés au réseau gazier offrant des services de GNSS: la solution à la coexistence de services régulés (regazéification) et marchands (GNSS) réside dans le partage des coûts communs d'infrastructure. Pour les dépôts stratégiques, il existe une garantie de revenus (pour les services de regazéification) pendant 4 ans.
- les réseaux isolés: il y a le choix entre le régime du réseau GPL ou le régime du réseau interconnecté, si le raccordement est prévu. Dans ce dernier cas, la couverture des coûts de stockage et de vaporisation par satellite est supprimée, mais la possibilité de péréquation entre clients est accrue.

- La décision de l'ARERA<sup>23</sup> concernant la dorsale de distribution en Sardaigne est toujours en attente. La zone de la Sardaigne sera séparée mais une péréquation est envisagée pour les premières années: les nouveaux clients du gaz paieront les tarifs de l'Italie du Sud. Possibilité de passer au régime des réseaux interconnectés même sans projet
- Le PNIEC<sup>24</sup> a confirmé le rôle des utilisations finales du GNL et a prévu de nouvelles politiques de promotion pour les camions, les ports et le secteur du transport maritime.

La première phase de la méthanisation en Sardaigne, basée sur des dépôts côtiers et la distribution par camions-citernes, alimentera le développement des utilisations finales du GNL sur l'île. A moyen et long terme, la cohérence du développement ultérieur de la chaîne d'approvisionnement en GNSS<sup>25</sup> dépendra de la mise en œuvre effective du projet de backbone. Au cours de la période triennale 2020-2022, le comblement du *déficit infrastructurel* et le démarrage des infrastructures d'importation pourraient donner un nouvel élan au marché. Les prévisions à l'horizon 2030 voient le secteur du transport routier lourd comme un acteur clé, qui sera accompagné par les premiers développements significatifs des réseaux maritimes et isolés, ainsi que par une reprise de la croissance des utilisateurs industriels *hors réseau*. Un développement soutenu en fonction des choix pour la Sardaigne et des politiques de promotion de la chaîne d'approvisionnement en GNSS.

### 3.9 Consommation d'énergie en Sardaigne

#### 3.9.1 Consommation finale d'énergie en Sardaigne 2000 - 2019

La consommation d'énergie finale de la région Sardaigne en 2019 s'élève à environ 2 730 ktep, soit environ 2% de la consommation italienne. De 2000 à 2006, on observe une *tendance* générale à la hausse, de 3 400 ktep à 3 800 ktep (+7,8%). À partir de 2007, cependant, on a assisté à un important renversement de tendance jusqu'en 2014, où l'on a enregistré la plus faible consommation d'énergie finale, égale à environ 2 400 ktep (-37%). De 2015 à 2019, la *tendance* s'est inversée avec une croissance de 13% en cinq ans. Les Figure 92 et 2 montrent le *mélange* particulier de la consommation d'énergie de la Sardaigne, caractérisé par l'absence de gaz naturel en raison du manque d'infrastructures pour approvisionner l'île en cette ressource énergétique.

<sup>23</sup> Autorité de régulation de l'énergie, des réseaux et de l'environnement

<sup>24</sup> Plan national intégré pour l'énergie et le climat

<sup>25</sup> GNL à petite échelle

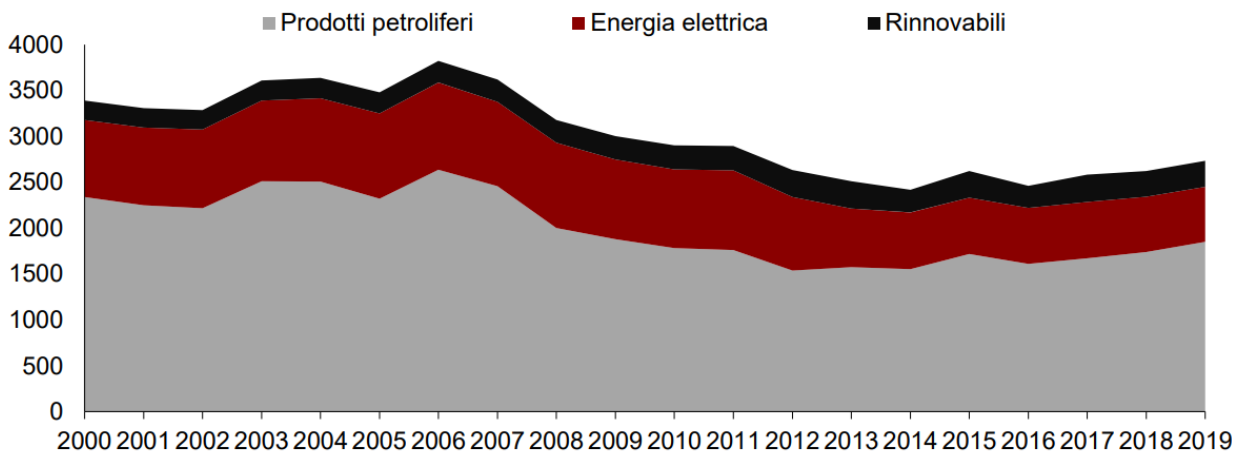


Figure 92 - Consommation d'énergie finale en Sardaigne par source, 2000-2019 (ktep). Source: Élaborations et estimations du REF-E sur la base des données de Terna, MSE, Enea, Gse et de la région Sardaigne.

En 2019, le *mix* sarde de la consommation finale d'énergie voit toujours la prédominance des produits pétroliers avec environ 1 850 ktep (68%), suivie de la consommation finale d'électricité de 600 ktep (22%) et de 281 ktep de consommation couverte par des sources renouvelables (10%) <sup>26</sup>, constituée presque exclusivement de l'utilisation de la biomasse ligneuse dans le secteur résidentiel. En comparaison, en 2019, le *mix* italien prévoit 40% de produits pétroliers, 30% de gaz naturel, 20,5% d'électricité, 6,3% d'énergies renouvelables et 2,2% de combustibles solides. En Sardaigne, l'absence de gaz naturel, en plus du rôle prédominant des produits pétroliers, entraîne un degré plus élevé de pénétration de l'électricité et des énergies renouvelables.

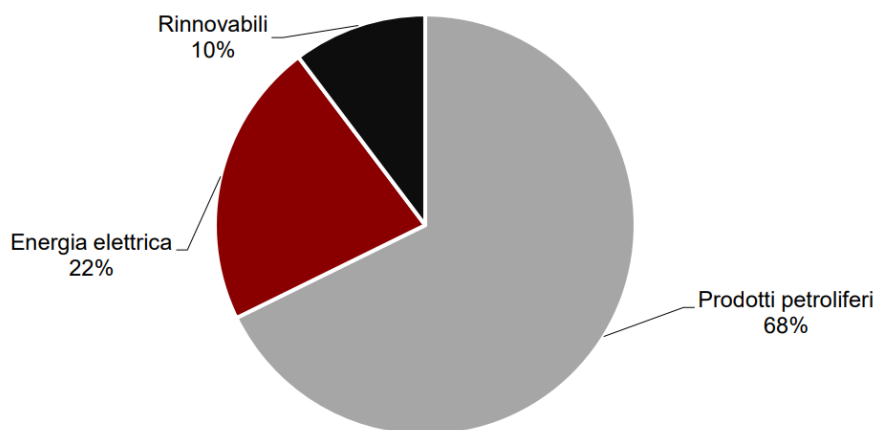


Figure 93 - Consommation finale d'énergie en Sardaigne (2019) par source (%). Source: Élaborations et estimations du REF-E sur la base des données de Terna, MSE, Enea, Gse et de la région Sardaigne.

<sup>26</sup> Avec le critère statistique de la consommation finale d'énergie, cette valeur ne rend compte que de la consommation thermique des sources renouvelables.

La Figure 94 montre la répartition de la consommation finale d'énergie de la Sardaigne entre les principaux secteurs d'utilisation et leur évolution de 2000 à 2019. Toujours en 2019, le transport s'est avéré être le principal secteur de consommation avec environ 1 380 ktep, en hausse d'environ 36% depuis 2013, année où la consommation la plus faible dans ce secteur a été enregistrée (1 019 ktep). Depuis 2013, date à laquelle il a dépassé la consommation de l'industrie, le secteur résidentiel est le deuxième plus important, avec environ 670 ktep en 2019. La consommation finale d'énergie du secteur industriel, quant à elle, s'élève à environ 400 ktep, suivant une forte *tendance* à la baisse qui, depuis 2007, a conduit la consommation de ce secteur à diminuer de plus de 70%. Enfin, en 2019, la consommation du secteur tertiaire s'élèvera à 220 ktep tandis que celle de l'agriculture et de la pêche s'élèvera à un peu plus de 80 ktep.

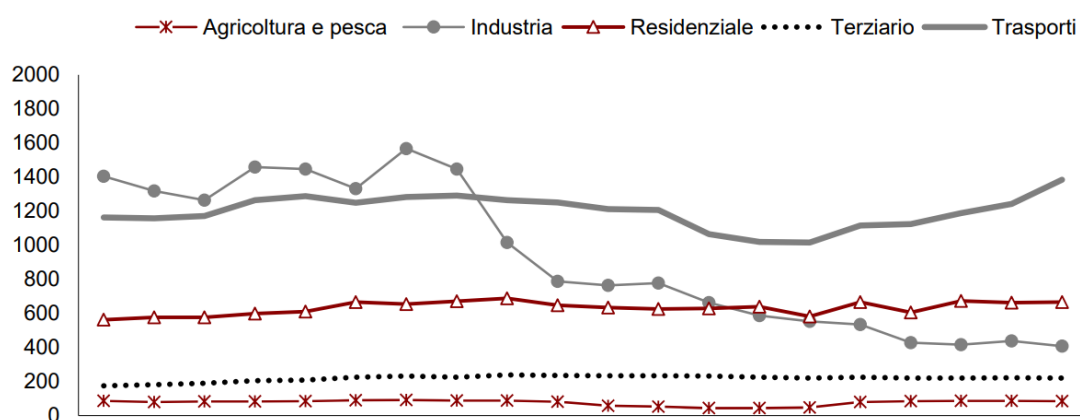


Figure 94 - Consommation d'énergie finale en Sardaigne par secteur, 2000-2019 (ktep). Source: Élaborations et estimations du REF-E sur la base des données de Terna, MSE, Enea, Gse et de la région Sardaigne.

Le diagramme de la Figure 95 montre le *mix sarde de la* consommation finale d'énergie par secteur d'utilisation, en référence à l'année 2019. La part de la consommation d'énergie finale dans le secteur des transports couvre à elle seule la moitié de la consommation totale (environ 50%).

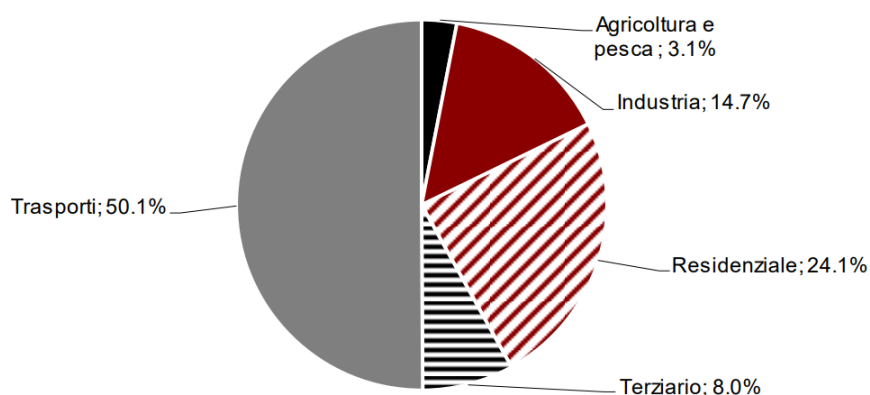


Figure 95 - Consommation finale d'énergie par secteur, 2019 (%). Source: Élaborations et estimations du REF-E sur la base des données de Terna, MSE, Enea, Gse et de la région Sardaigne.



De 2000 à 2019, la consommation totale d'énergie finale de la Sardaigne a diminué de près de 29%, passant de 840 ktep à 600 ktep. Cette réduction est en grande partie attribuable à la baisse de la consommation d'énergie finale dans le secteur industriel, comme le montre la Figure 96, ci-dessous.

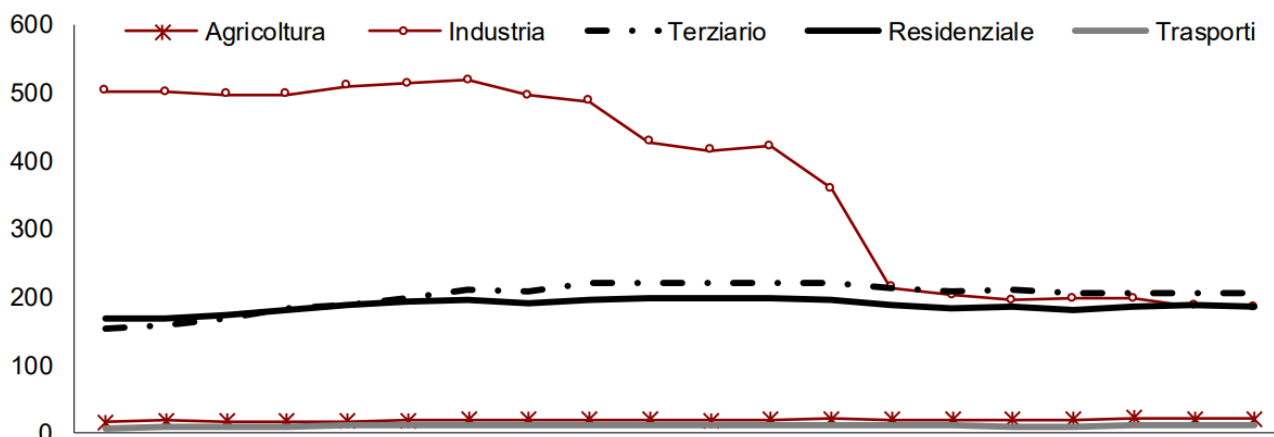


Figure 96 - Consommation finale d'électricité par secteur, 2000-2019 (ktep). Source: élaboration du REF-E à partir des données Terna

La réduction la plus importante de la consommation finale d'électricité dans le secteur industriel a eu lieu entre 2006 et 2015 (-63%), puis est restée presque stable juste en dessous de 200 ktep de 2016 à 2019. Si, en 2000, la consommation d'électricité dans l'industrie pesait 60%, en fait, en 2019, ce pourcentage avait été divisé par deux pour atteindre environ 30%. La consommation d'électricité dans le secteur tertiaire est passée de 153 ktep en 2000 à 204 ktep en 2019 avec une augmentation de 34%, dépassant celle de l'industrie en 2014. Dans le secteur résidentiel, la consommation finale d'électricité est passée de 166 ktep en 2000 à 185 ktep en 2019, soit une augmentation de 11% et pèse à ce jour 31% du total. La consommation finale d'électricité dans les secteurs de l'agriculture et des transports est restée sensiblement constante sur la période considérée, s'élevant en 2019 à 19 ktep (environ 3% du total) et 9 ktep (environ 1,5% du total). Dans le secteur des transports en Sardaigne, en effet, le transport ferroviaire utilise principalement des moteurs diesel.

### 3.9.1.1 Secteur résidentiel

La consommation d'énergie du secteur résidentiel en Sardaigne entre 2000 et 2019 montre une *tendance à la hausse* avec une augmentation de 562 à 666 ktep, qui se caractérise par des oscillations importantes en fonction des tendances climatiques. Ces fluctuations se sont poursuivies les années suivantes, puis se sont rétablies entre 2018 et 2019. En Sardaigne, la biomasse ligneuse (bois et *granulés*) couvre la part principale de la consommation d'électricité dans le secteur résidentiel, soit plus de 40%, la consommation de biomasse ligneuse s'élevant à environ 280 ktep en 2019. La consommation de biomasse est apparue sur la base d'enquêtes portant à la fois sur la consommation de combustibles ligneux et sur

la fourniture de systèmes de chauffage à la biomasse, cette dernière ayant plus que doublé en Sardaigne entre 2001 et 2019.

Comme le montre la Figure 97, la consommation d'électricité dans le secteur résidentiel présente une légère tendance à la hausse de 2000 à 2010, puis une légère inversion de tendance les années suivantes; en 2019, la consommation moyenne était de 185 ktep (environ 28% du total). Il convient de souligner que seule une partie de la consommation totale d'électricité dans le secteur résidentiel est destinée au chauffage ou à d'autres utilisations contestables par le gaz naturel, comme l'eau chaude sanitaire et la cuisson. Le degré de pénétration de l'électricité dans la consommation résidentielle en Sardaigne était en moyenne d'environ 28%, contre une valeur de 16-17% au niveau national. Les produits pétroliers représentent environ 30% de la consommation résidentielle totale, contre 35% en 2000. Les deux produits pétroliers utilisés dans le secteur résidentiel sont le diesel et le GPL, dont la consommation moyenne en 2019 était respectivement de 94 ktep et 106 ktep.

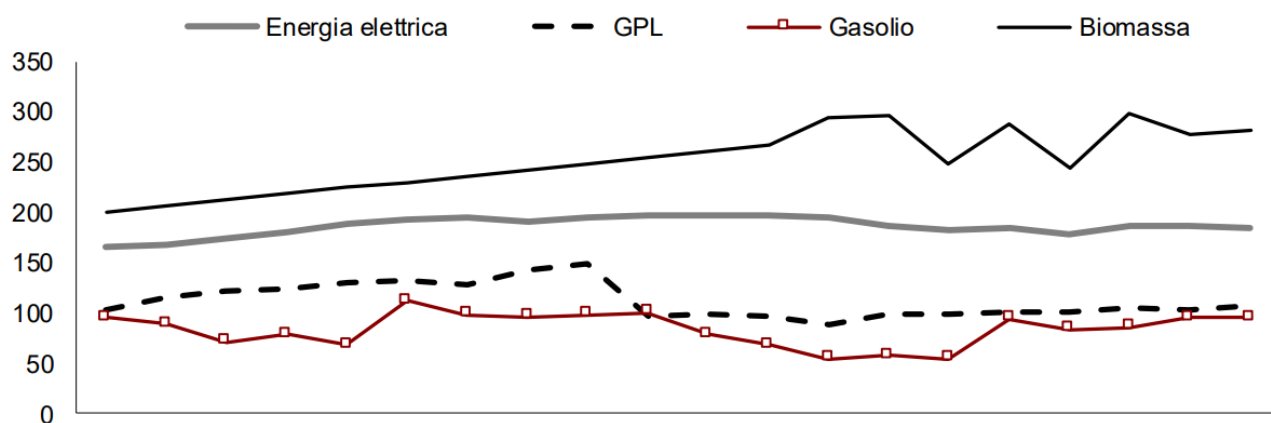


Figure 97 - Consommation finale d'énergie dans le secteur résidentiel, 2000-2019 (ktep). Source: estimations de l'ENEA et du REF-E sur la base des données de Terna, MSE, ENEA, GSE et de la région Sardaigne.

Les données sur la consommation globale d'énergie dans le secteur résidentiel de la Sardaigne peuvent être lues de manière plus significative à travers l'analyse des stocks de systèmes de chauffage dans les maisons. Les données du Tableau 30 montrent la dynamique des types de stocks de systèmes de chauffage autonome et central en Sardaigne de 2001 à 2015<sup>27</sup>, ventilés par produit/source d'approvisionnement. On constate notamment le rôle prépondérant du diesel dans les systèmes de chauffage central, qui s'est sensiblement maintenu sur la période considérée, avec un poids d'environ 78% en 2015. Au cours de la même période, dans le segment des installations centralisées, on a constaté

<sup>27</sup> Compilé à partir des données de l'enquête REF-E sur le marché de la climatisation disponibles jusqu'en 2015.

une légère croissance des installations alimentées au GPL (+10%), tandis que celles alimentées à la biomasse et celles alimentées à l'électricité ont doublé.

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>Parc de ménages centralisé (nombre de ménages)</b>															
Carburant diesel	57 032	52 225	64 326	62 582	66 663	67 017	78 316	67 979	63 244	61 744	61 709	61 640	62 130	61 560	60 990
GPL	4 919	10 283	11 260	13 064	8 883	9 322	10 746	8 764	5 932	7 633	8 481	8 481	7 011	6 287	5 564
Électricité	2 842	2 889	2 941	3 017	3 095	3 181	3 318	3 493	3 673	3 863	4 042	4 111	4 632	5 658	6 683
Biomasse	2 357	2 427	2 498	2 568	2 638	2 718	2 810	2 932	3 077	3 251	3 467	3 467	4 386	4 936	5 487
<b>Effectif des ménages indépendants (nombre de ménages)</b>															
Carburant diesel	51 588	30 050	41 282	36 089	49 800	48 175	58 010	50 252	53 661	44 876	42 138	41 793	32 739	29 646	26 552
GPL	90 627	115 989	151 488	156 541	141 655	142 229	175 132	137 374	105 183	113 247	117 582	116 687	101 386	101 247	101 118
L'électricité*	52 996	56 473	61 804	68 763	73 191	77 555	82 975	87 311	90 399	93 909	97 230	97 673	101 193	99 348	97 504
Biomasse	81 101	78 967	78 624	79 090	80 654	87 418	92 368	96 081	100 196	104 229	108 164	112 695	145 090	150 563	156 035

Comprend les appareils utilisés comme système de chauffage principal et comme système auxiliaire.

Tableau 30 - Stock de systèmes de chauffage dans les logements, 2001-2015 (nombre de ménages) <sup>28</sup>

La dynamique des stocks de systèmes de chauffage dans le segment des systèmes autonomes est beaucoup plus significative: au cours de la période considérée, les systèmes alimentés au diesel ont diminué de moitié, ceux alimentés au GPL ont augmenté de 10% et ceux alimentés à la biomasse et à l'électricité ont doublé. En 2015, dans le segment des systèmes autonomes, ceux alimentés par la biomasse représentaient 41,3%, ceux alimentés par le GPL 26,7%, ceux alimentés par l'électricité 25,8% et ceux alimentés par le diesel 7%.

Le Tableau 31 ci-dessous, pour la période 2000-2015, montre la consommation d'énergie finale du secteur résidentiel contestable par le gaz naturel, ceux pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire (ECS) et la cuisson.

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Changement 2001-2015
<b>Centralisé</b>	<b>59.5</b>	<b>63.2</b>	<b>64.4</b>	<b>61.8</b>	<b>84.8</b>	<b>81.8</b>	<b>82.0</b>	<b>81.8</b>	<b>67.6</b>	<b>60.4</b>	<b>55.6</b>	<b>47.3</b>	<b>53.0</b>	<b>52.5</b>	<b>54.1</b>	<b>-9%</b>
Carburant diesel	46.3	45.1	47.7	43.1	69.6	66.7	66.5	65.5	54.3	45.5	40.2	32.5	37.5	36.7	38.0	-18%
GPL	6.8	11.3	9.8	11.5	7.8	7.8	8.3	8.9	5.6	6.8	7.0	6.4	6.9	6.2	5.6	-16%
Électricité	1.8	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.7	2.0	12%
Biomasse	4.6	5.0	5.4	5.7	5.9	5.9	6.0	6.2	6.4	6.7	7.1	7.1	7.2	7.8	8.4	82%
<b>Autonome</b>	<b>401.8</b>	<b>394.3</b>	<b>408.3</b>	<b>415.7</b>	<b>435.4</b>	<b>431.3</b>	<b>452.7</b>	<b>461.6</b>	<b>425.1</b>	<b>419.9</b>	<b>415.5</b>	<b>407.7</b>	<b>418.1</b>	<b>414.6</b>	<b>415.5</b>	<b>3%</b>
Carburant diesel	41.9	26.0	30.6	24.8	52.0	47.9	49.2	48.4	46.0	33.0	27.4	22.0	19.8	17.7	16.5	-61%
GPL	124.5	127.7	131.4	138.2	124.9	119.7	135.1	139.4	99.0	101.1	96.8	88.7	99.9	100.2	102.7	-18%
Électricité	34.0	33.6	33.6	34.3	34.4	33.6	32.3	32.0	32.5	32.5	32.4	32.1	30.6	29.6	29.6	-13%
Biomasse	201.4	207.0	212.6	218.3	224.1	230.1	236.0	241.8	247.6	253.3	258.9	264.9	267.8	267.2	266.6	32%
<b>Total</b>	<b>461.3</b>	<b>457.5</b>	<b>472.7</b>	<b>477.5</b>	<b>520.2</b>	<b>513.1</b>	<b>534.7</b>	<b>543.4</b>	<b>492.7</b>	<b>480.3</b>	<b>471.1</b>	<b>455.0</b>	<b>471.1</b>	<b>467.1</b>	<b>469.6</b>	<b>2%</b>

Tableau 31 - Sardaigne: consommation d'énergie finale pour le chauffage (chauffage, ECS, cuisson) - données non normalisées pour l'effet température, 2001-2015 (ktep). Source: *Élaboration du REF-E*

<sup>28</sup> Source: *Élaboration du REF-E*

En particulier, on peut souligner qu'en 2015, la consommation résidentielle est attribuable pour 88,5% (415 ktep) aux habitations équipées de systèmes autonomes et pour 11,5% (54 ktep) à celles équipées de systèmes centralisés. En outre, on peut souligner qu'en 2015, la consommation d'électricité attribuable aux usages de chauffage et d'ECS, s'élevant à 32 ktep, a constitué 17% de la consommation totale du secteur résidentiel.

### 3.9.1.2 Secteur tertiaire

La consommation d'énergie dans le secteur tertiaire en Sardaigne est caractérisée par un taux de pénétration électrique très élevé (Figure 98), qui est supérieur à 90% par rapport à une valeur d'environ 50% au niveau national. La consommation de diesel et de GPL pour l'ensemble du secteur tertiaire s'élève à environ 16 ktep en 2019.

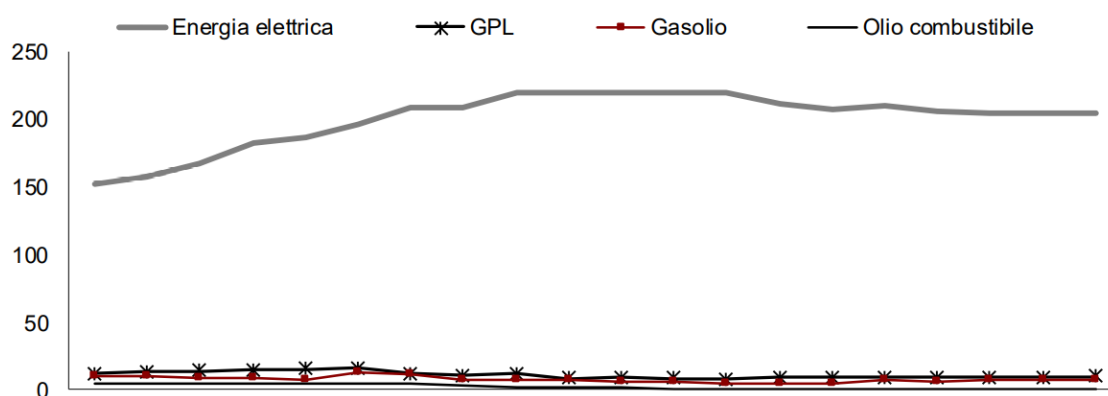


Figure 98 - Consommation finale d'énergie dans le secteur tertiaire, 2000-2019 (ktep). Source: Estimations de l'Enea et du REF-E sur la base des données de Terna, MSE, Enea et Gse.

Par conséquent, l'analyse de la consommation d'électricité dans les différents secteurs tertiaires de la Sardaigne est particulièrement importante (voir la Figure 99). Le commerce reste le secteur tertiaire avec la plus forte consommation d'électricité s'élevant à 44 ktep en 2018<sup>29</sup> (environ 22% du total). Dans ce secteur, la consommation d'électricité a connu une tendance à la hausse jusqu'en 2008, puis un renversement de tendance qui a conduit à une réduction d'environ 18% au cours de la décennie suivante. La consommation d'électricité identifiée sous "autres services vendables" pèse également 22% du total et a connu une croissance régulière jusqu'en 2018, où la consommation était de 46 ktep. En troisième position, on trouve le secteur "hôtels, restaurants et bars", dont la consommation électrique en 2018 était de 34 ktep, soit 17% du secteur. La consommation d'électricité des secteurs tertiaires qui exercent des activités à caractère public ou des services publics est également

<sup>29</sup> Les dernières données disponibles pour la consommation finale d'énergie dans les différents segments du secteur tertiaire se rapportent à 2018. Toutefois, les estimations du REF-E pour 2019 prévoient une consommation finale d'énergie dans le secteur tertiaire d'environ 204 ktep.



très importante; et en particulier, les activités des services d'eau et pour les “autres services non vendables” qui pèsent ensemble 21% en 2018, suivies par les consommations des administrations publiques et celles pour l'éclairage public qui pèsent ensemble environ 14%.

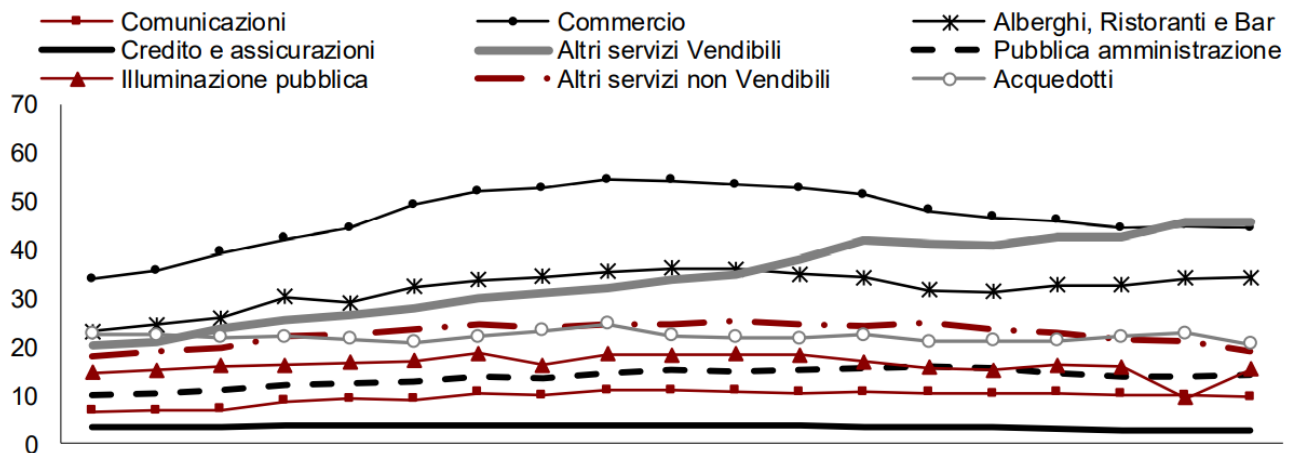


Figure 99 - Consommation d'électricité dans le secteur tertiaire, 2000-2018 (ktep). Source: élaboration du REF-E à partir des données Terna

### 3.9.1.3 Secteur industriel

La consommation finale d'énergie par l'industrie en Sardaigne reflète le processus de réduction radicale des effectifs dans ce secteur d'activité économique. En 2000, la consommation industrielle totale d'environ 1 400 ktep était couverte par 501 ktep d'électricité (36%) et environ 890 ktep de produits pétroliers (54%).

En 2019, les quelque 410 ktep de consommation d'énergie finale de l'industrie sarde sont couvertes par 183 ktep d'électricité (45%), environ 194 ktep de produits pétroliers (48%) et 30 ktep de consommation d'autres produits énergétiques (7%), qui sont aujourd'hui presque exclusivement constitués de combustibles solides auxquels s'ajoutent de très faibles parts de chaleur dérivée et de consommation du premier utilisateur de GNL de Sardaigne. De 2000 à 2019, la consommation de produits pétroliers dans le secteur industriel a diminué à un peu plus d'un cinquième de son niveau initial (-78%) et la consommation d'électricité à environ un tiers de son niveau de 2000 (-63%), comme le montre la Figure 100.

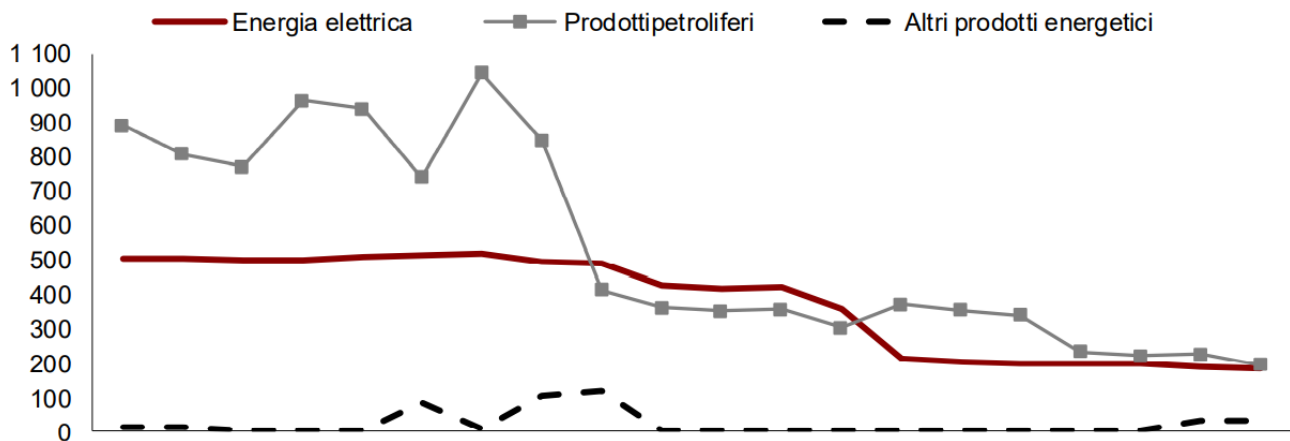


Figure 100 - Consommation finale d'énergie dans le secteur industriel, 2000-2019 (ktep). Source: estimations de l'ENEA et du REF-E basées sur les données de Terna, de l'ENEA, des EMS et de la région Sardaigne.

Les données sur la consommation d'électricité des différents secteurs d'activité industrielle permettent de saisir certaines des principales dynamiques de transformation de la consommation d'énergie dans ce macro-secteur (Figure 101).

En 2000, la consommation d'électricité dans le secteur des métaux non ferreux (principalement le traitement du minerai d'aluminium) s'élevait à 257 ktep, soit 44% de la consommation d'électricité de l'industrie. En 2018<sup>30</sup>, cette consommation a été réduite à 61 ktep, soit moins d'un quart de ce qu'elle était en 2000, ce qui représente 20%. En 2000, le deuxième secteur industriel pour la consommation d'électricité en Sardaigne était le secteur chimique, qui a consommé 170 ktep, soit près de 30% de la consommation d'électricité industrielle de l'île. En 2018, la consommation d'électricité du secteur de la chimie a été divisée par plus de deux et pèse 25%, dépassant celle du secteur des métaux non ferreux. Le troisième secteur le plus important est celui défini comme la "consommation d'électricité du secteur de l'énergie", qui, dans les statistiques énergétiques, ne fait pas partie de la consommation finale, et qui comprend l'extraction de combustibles, le raffinage et les cokeries, l'électricité et le gaz. Dans le cas de la Sardaigne, il s'agit principalement de la consommation de la raffinerie de Sarroch. En 2000, la consommation d'électricité pour les activités susmentionnées était d'environ 80 ktep (14% du total), alors qu'en 2018, elle a dépassé celle des métaux non ferreux et des produits chimiques, avec plus de 120 ktep (près de 40% du total).

Outre les trois secteurs dominants décrits ci-dessus, dans la consommation d'électricité de l'industrie, celles des industries des matériaux de construction et celles des industries agroalimentaires sont importantes. L'industrie des matériaux de construction a eu en 2018

<sup>30</sup> Les données de Terna sur la consommation régionale d'électricité ventilée par secteur industriel sont disponibles jusqu'en 2018.

une consommation d'électricité de 12 ktep (4,1% du total), consommation qui a été plus que divisée par deux par rapport à celle de 2000. Le secteur des industries agroalimentaires a eu en 2018 une consommation électrique de 15 ktep (5%), c'est le seul secteur qui a conservé le même niveau de consommation qu'en 2000. La consommation d'électricité de tous les autres secteurs industriels en Sardaigne a diminué de 28 ktep en 2000 à 19 ktep en 2018 et pèse désormais environ 6%.

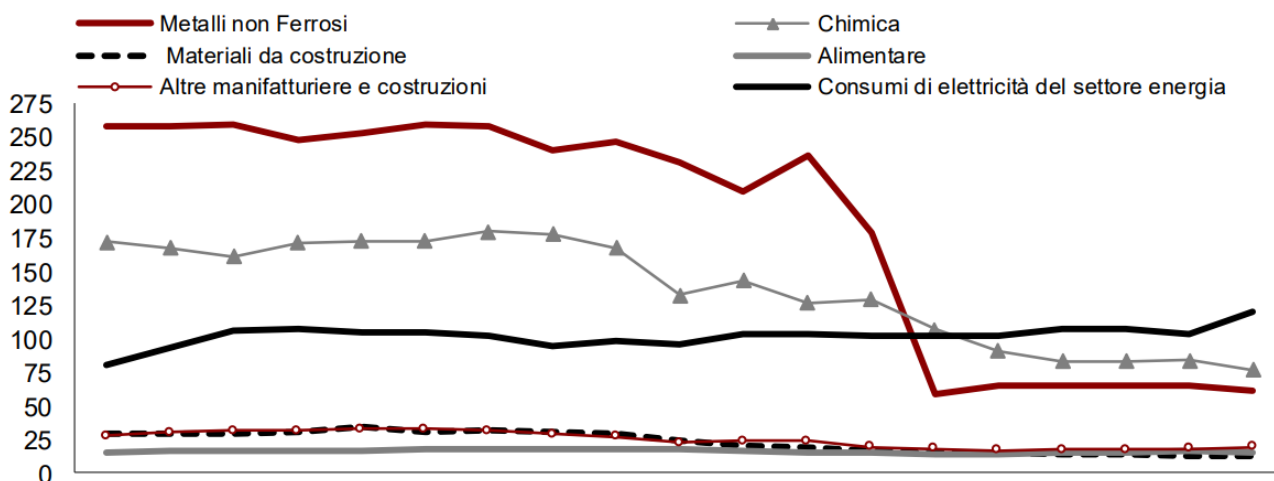


Figure 101 - Consommation d'électricité dans les secteurs industriels, 2000-2018 (ktep). Source: élaboration du REF-E à partir des données Terna

En ce qui concerne la consommation finale à usage thermique des différents types de produits pétroliers dans le secteur industriel au niveau régional, ceux-ci se sont élevés à environ 194 ktep en 2019, répartis entre le GPL, le diesel, le fioul et le coke de pétrole, comme le montre la Figure 102.

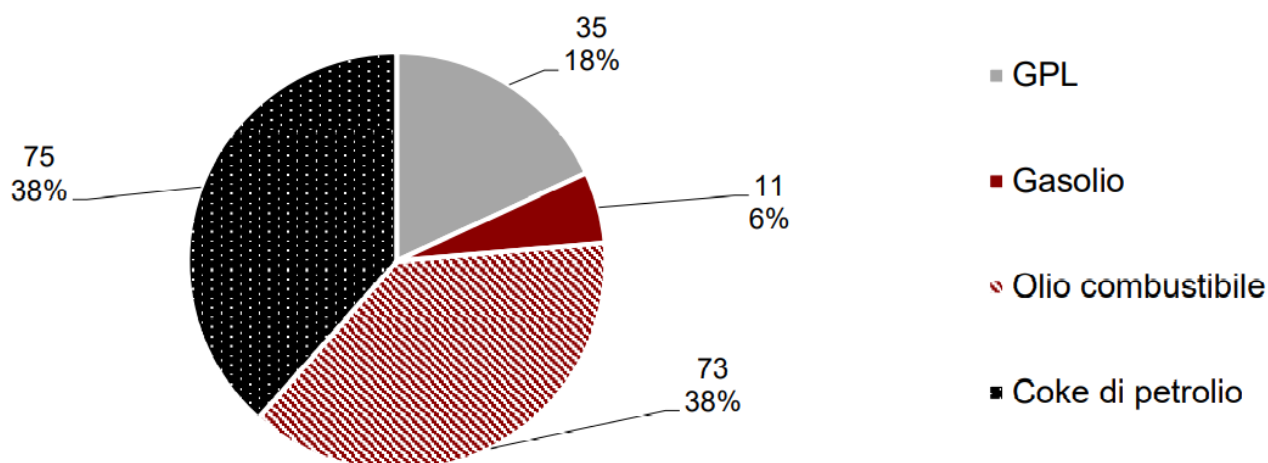


Figure 102 - Consommation finale de produits pétroliers dans l'industrie, 2019 (ktep et%). Source: Élaboration REF-E et estimations sur la base des données MSE, Terna, Enea, GSE et RSE.

En 2019, le fioul et le *coke de pétrole* constituent les deux produits pétroliers les plus utilisés, chacun consommant environ 75 ktep (soit 38%). Il est suivi en importance dans la consommation finale de l'industrie par l'utilisation du GPL avec 35 ktep (18%). Enfin, le diesel, avec 11 ktep en 2019, représentant environ 6% de la consommation finale de produits pétroliers dans l'industrie. En termes généraux, on peut souligner que la prévalence de la consommation finale de produits pétroliers par l'industrie sarde provient de produits liés à la présence sur l'île d'une grande usine de raffinage de pétrole à Sarroch. Il s'agit notamment du *coke de pétrole* et d'autres produits pétroliers. L'utilisation de certains de ces produits (comme le *coke de pétrole*) se caractérise également par le fait que, dans certains cas, ils sont utilisés à la fois pour l'énergie et les procédés dans des domaines spécifiques des secteurs de la chimie ou des matériaux de construction, comme le ciment.

### 3.9.2 Secteur des transports

De 2000 à 2019, le volume total de la consommation d'énergie pour les transports est resté essentiellement stable avec une valeur moyenne d'environ 1 250 ktep, qui sont couverts à 99% par les produits pétroliers (Figure 103). En 2019, cette valeur était d'environ 1 380 ktep. Le principal produit pétrolier, utilisé pour les différents modes de transport, est le diesel, qui est passé d'environ 500 à 760 ktep au cours de la période considérée, avec une augmentation de 50%. En 2019 Le poids du diesel dans la consommation énergétique des transports en Sardaigne était de 55%, contre une valeur de 43% en 2000 (Figure 104). Aujourd'hui, le deuxième produit pétrolier le plus important est l'essence, utilisée presque exclusivement dans le transport routier léger, qui a enregistré au début des années 2000 une consommation légèrement supérieure à celle du diesel. En dix-neuf ans, à *tendance* constante, la consommation d'essence en Sardaigne a diminué de moitié, passant de 507 à 257 ktep. Le poids de l'essence est passé de 45% à 19%.

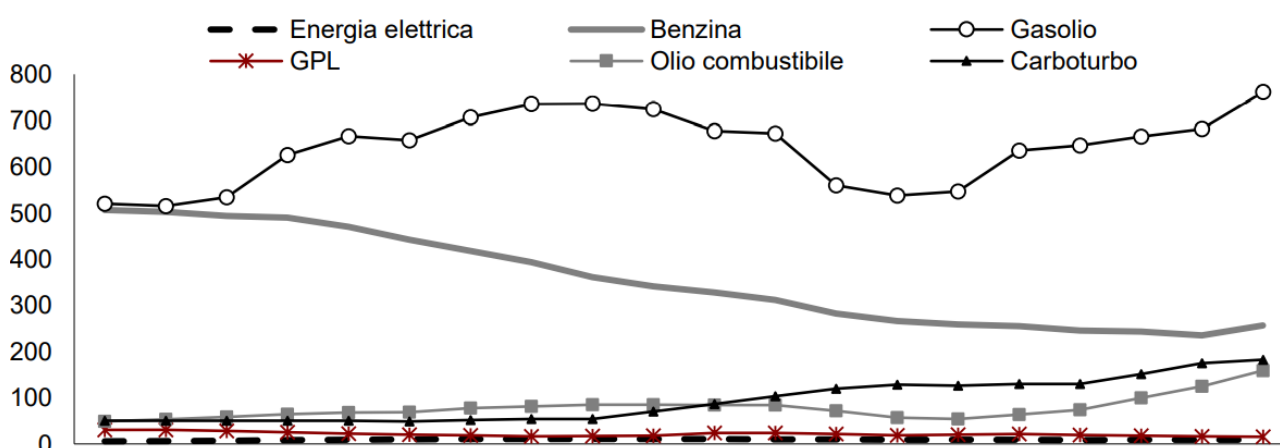


Figure 103 - Consommation finale d'énergie dans le secteur des transports, 2000-2019 (ktep). Source: Élaborations et estimations du REF-E sur la base des données de Terna, MSE, Enea, Gse et de la région Sardaigne.



En 2019, le fioul, utilisé exclusivement dans le transport aérien, enregistre une consommation d'environ 183 ktep, égale à 13% de la consommation des transports, qui a connu une *tendance à la croissance* de près de 300% depuis 2000 (50 ktep). La consommation de fioul, utilisé exclusivement dans le transport maritime, représente 11%, soit environ 160 ktep en 2019. La consommation de GPL pour le transport en Sardaigne en 2019 a été de 15 ktep, égale à un peu plus de 1% de la consommation de transport, enregistrant une baisse de 49% sur la période considérée. Très limitée, comme on l'a déjà vu, la consommation d'électricité pour les transports en Sardaigne, 9 ktep (0,6%).

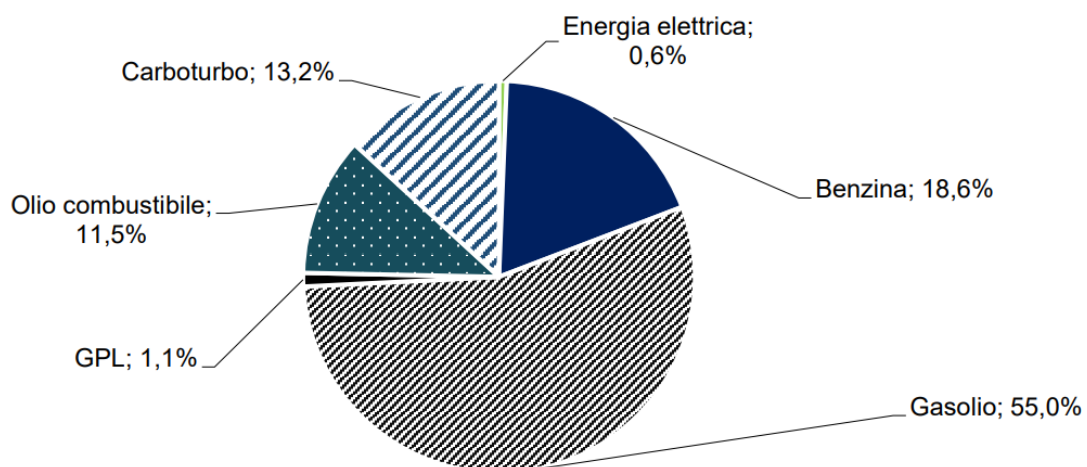


Figure 104 - Consommation finale d'énergie dans le secteur des transports, 2019 (%)

L'analyse par mode de la consommation d'énergie pour les transports en Sardaigne (Figure 105) montre que la consommation du transport routier léger (moins de 3,5 tonnes) en 2019, de 905 ktep (65% du total), est prépondérante par rapport à celle des autres modes, bien qu'elle ait subi une réduction d'environ 6% par rapport à 2000 (958 ktep). Dans ce segment, la consommation de diesel représente aujourd'hui 80%, celle d'essence 28% et celle de GPL 2%. En 2019, le transport routier lourd absorbe environ 8% de la consommation d'énergie des transports, avec environ 104 ktep constitués presque exclusivement de diesel<sup>31</sup>. La consommation du transport aérien absorbe 13% de la consommation d'énergie des transports avec environ 183 ktep constitués presque exclusivement de carburéacteur. Enfin, le transport maritime représente également environ 13% de la consommation d'énergie dans les transports, soit environ 185 ktep, dont 85% sont couverts par du fioul et les 15% restants par du diesel marin. Il convient de préciser que dans le cas de la consommation finale régionale de fuel pour la navigation intérieure, le chiffre est une

<sup>31</sup> La méthodologie d'estimation de la consommation de diesel pour le transport routier lourd est expliquée au chapitre 6.

estimation basée sur les informations recueillies par la Région Sardaigne à partir des informations sur le trafic maritime dans les ports de l'île.

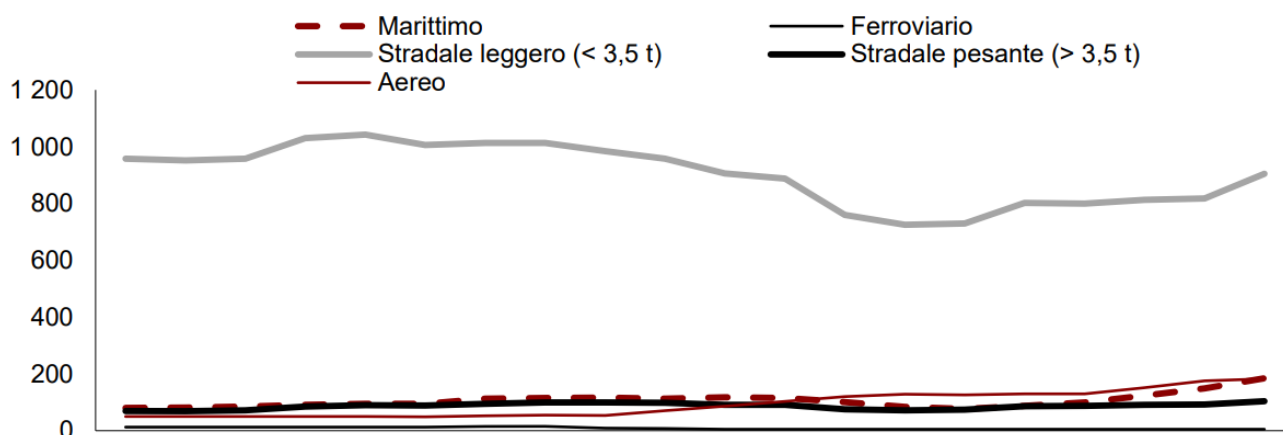


Figure 105 - Consommation d'énergie dans les transports par mode, 2000-2019 (ktep). Source: Élaborations et estimations du REF-E sur Terna, MSE, Enea, Gse, Région Sardaigne et données Meta.

Dans ce cas, d'un point de vue statistique, le chiffre ne correspond pas aux livraisons de fuel effectuées en Sardaigne, mais presque exclusivement aux livraisons effectuées dans d'autres ports pour le trafic maritime vers l'île. Ceci est confirmé par les informations recueillies auprès des institutions et des opérateurs du secteur, selon lesquelles le service de soutage de fioul n'est plus actif dans les ports sardes depuis quelques années. Ce type de service a été activé fin 2019 par Saras dans le port de Cagliari. Comme on l'a déjà vu, le transport ferroviaire absorbe environ 10 ktep couverts par le diesel.

Le graphique de la Figure 106 montre le *mix sarde de la* consommation d'énergie finale dans le secteur des transports pour chaque mode, en référence à l'année 2019.

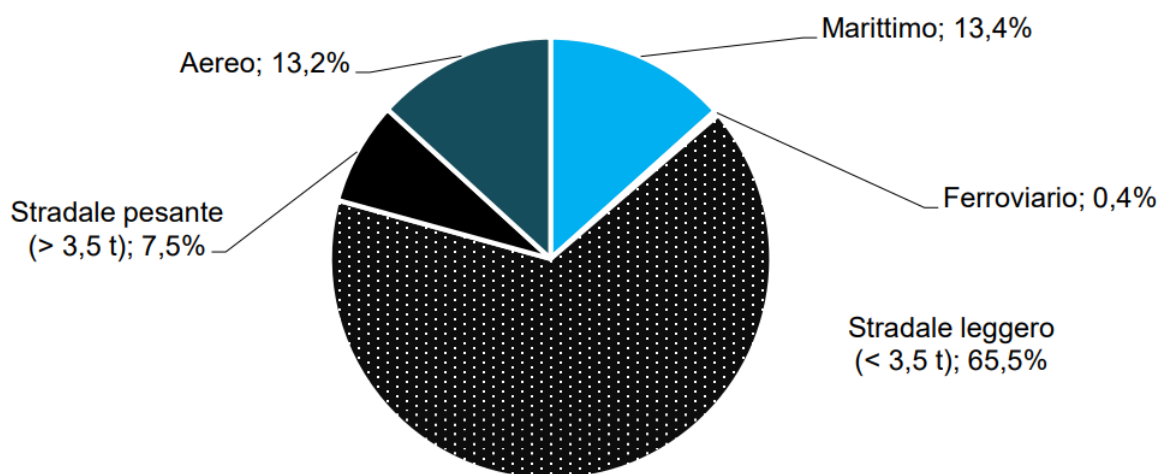


Figure 106 - Consommation finale d'énergie dans le secteur des transports par mode, 2019 (%)

### 3.9.3 Secteur de l'agriculture et de la pêche

La consommation finale d'énergie dans le secteur de l'agriculture et de la pêche s'est élevée à environ 84 ktep en 2019, stable au niveau de 2000 après la baisse enregistrée entre les années 2010 et 2014 en raison de la réduction de la consommation de diesel dans le secteur. En 2019, la part du diesel était de 74% (62 ktep), 23% celle de l'électricité (19 ktep) et 3% (3 ktep) celle du GPL.

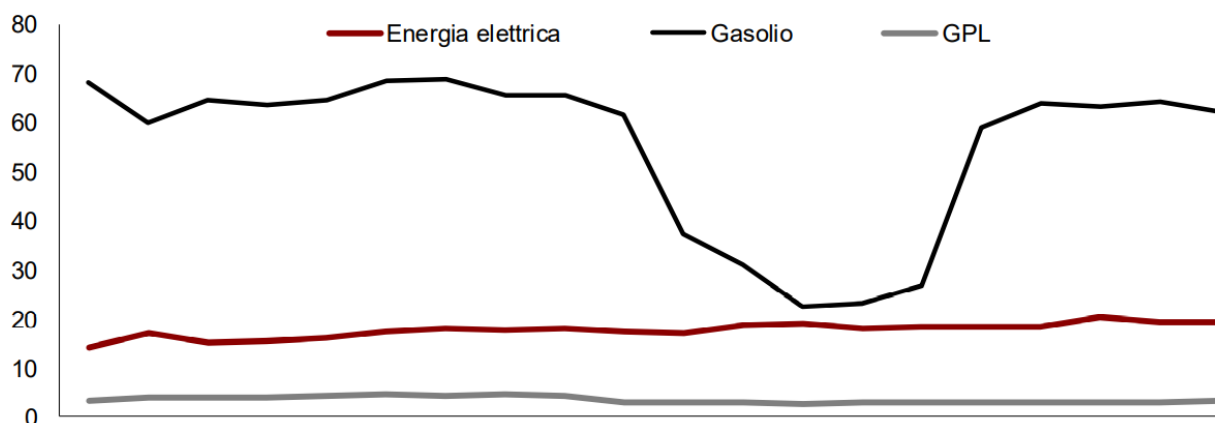


Figure 107 - Consommation finale d'énergie dans l'agriculture et la pêche, 2000-2019 (ktep). Source: Élaborations et estimations du REF-E sur la base des données de Terna, Mse, Enea et de la région Sardaigne.

### 3.10 Ventes de produits pétroliers en Sardaigne 2000 - 2019

L'analyse des données sur les ventes des différents types de produits pétroliers mises à disposition par le Ministère du développement économique (MiSE) au niveau régional constitue le point de départ fondamental pour les statistiques énergétiques sur les consommations sectorielles et pour les évaluations préliminaires de la pénétration potentielle du gaz naturel dans les utilisations civiles, industrielles et de transport (maritime et terrestre) en Sardaigne.

La Figure 108 montre l'évolution désagrégée des ventes des types de produits pétroliers (diesel, essence, GPL et fioul) enregistrées par les statistiques du MiSE en Sardaigne de 2000 à 2019.

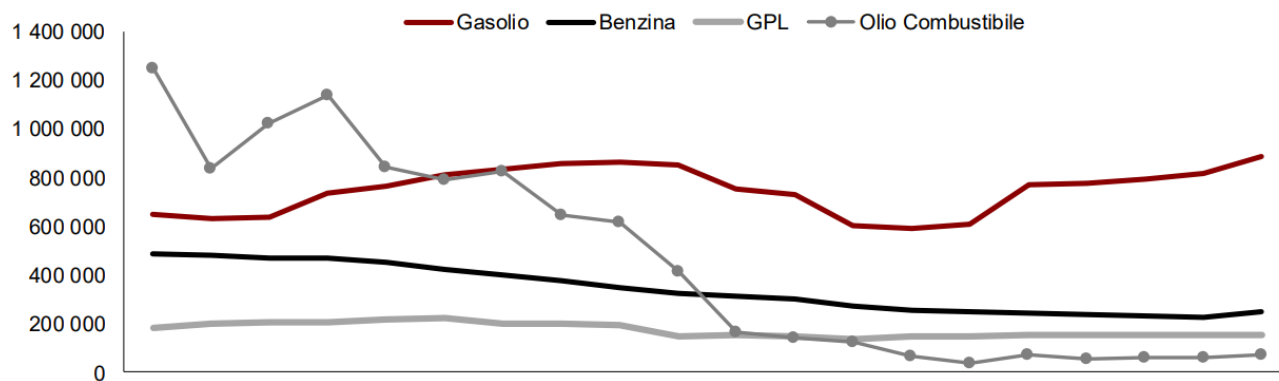


Figure 108 - Ventes de produits pétroliers, 2000-2019 (t). Source: Élaboration du REF-E à partir des données de l'EMS

À ce jour, le diesel reste le produit pétrolier prédominant dans le *mix des ventes*, suivi de l'essence, du GPL et seulement en dernier lieu du fioul (qui occupait la première place jusqu'en 2004).

Sur la base des données du MiSE, en 2019 (Figure 109), le volume total des ventes de produits pétroliers en Sardaigne était d'environ 1 352 00 tonnes, dont 66% de diesel (885 300 tonnes), 18% d'essence (244 670 tonnes), 11% de GPL (153 880 tonnes) et 5% de fioul (68 560 tonnes). Ces statistiques ne comprennent pas la consommation de produits pétroliers pour le soutage.



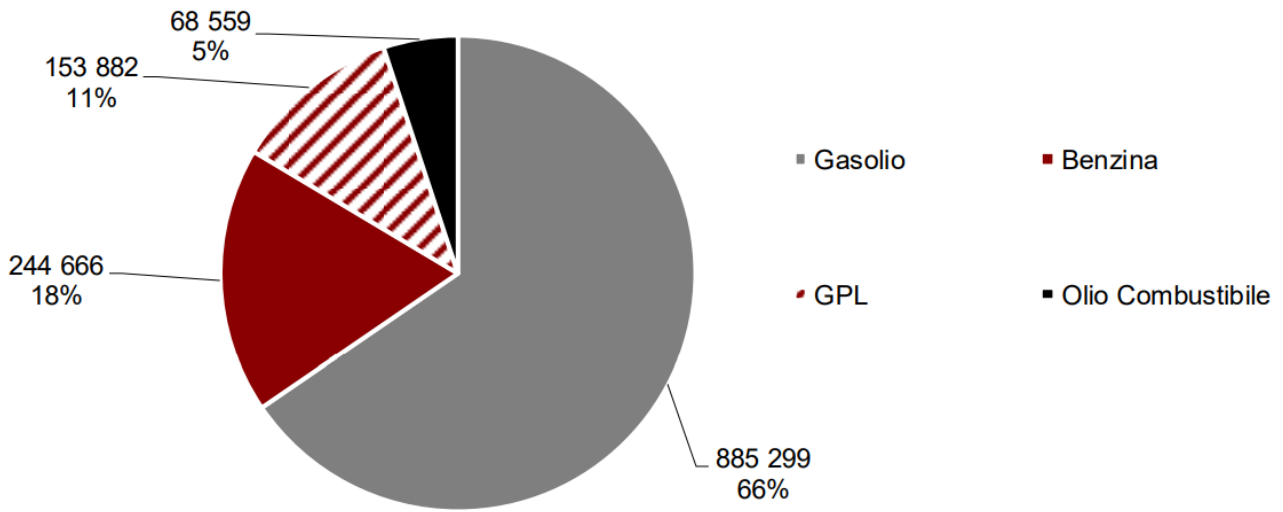


Figure 109 - Ventes de produits pétroliers, 2019 (t et%)

L'agrégat le plus important est celui des différents types de diesel. Comme le montrent la Figure 111 et le Figure 111, en 2019, les ventes totales de diesel en Sardaigne étaient constituées de diesel moteur 82% (721 576 t), de diesel de chauffage 11% (99 514 t), de diesel agricole 7% (60 993 t) et de diesel de production thermoélectrique 0,4% (3 216 t).

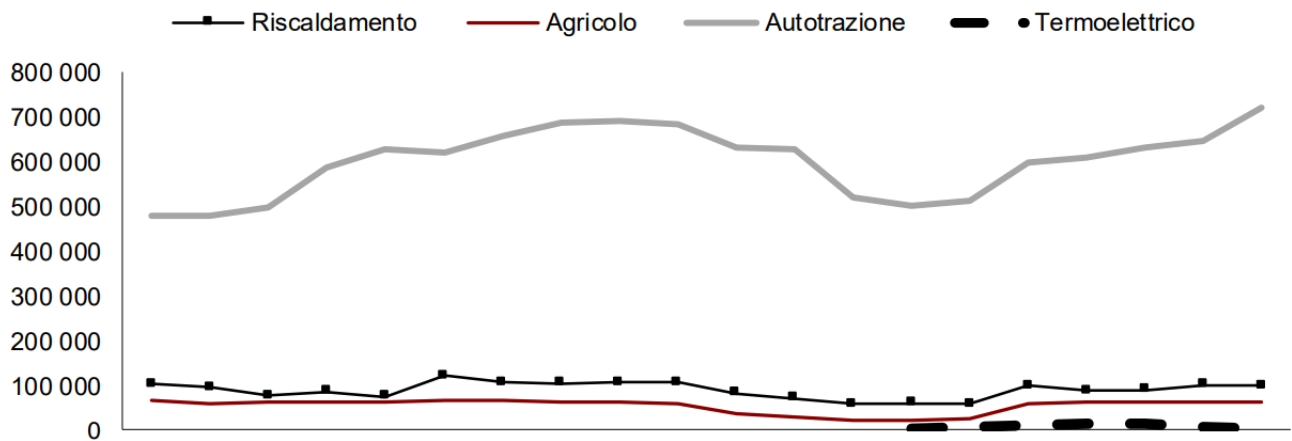


Figure 110 - Ventes de diesel, 2000-2019 (t). Source: Élaboration du REF-E à partir des données de l'EMS

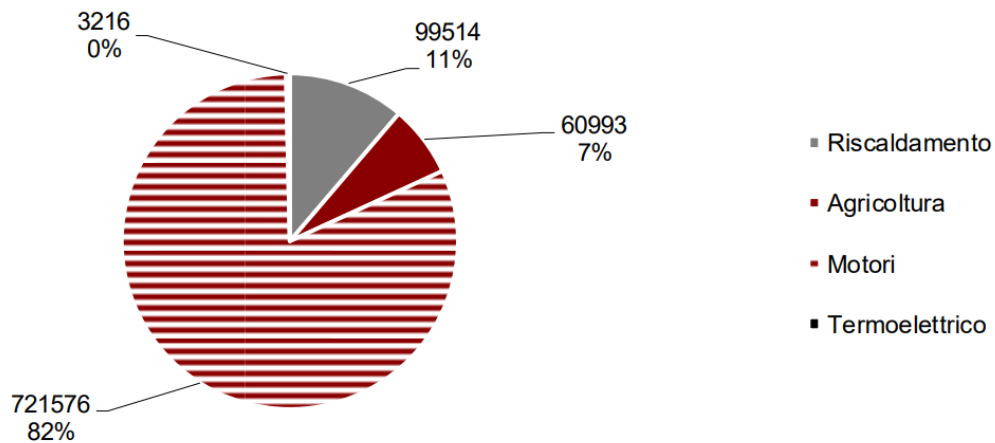


Figure 111 - Ventas de diesel, 2019 (%). Source: Élaboration du REF-E à partir des données de l'EMS

Pour une évaluation préliminaire du potentiel de pénétration du gaz naturel en Sardaigne, le rôle actuel du GPL dans la consommation énergétique de l'île est particulièrement pertinent. Sur la base des données MiSE, en 2019, le volume total des ventes de GPL en Sardaigne, a été d'un peu plus de 150 000 tonnes, 9% (14 065 t) pour l'automobile et 91% (139 800 t) pour la combustion (Figure 112et Figure 113).

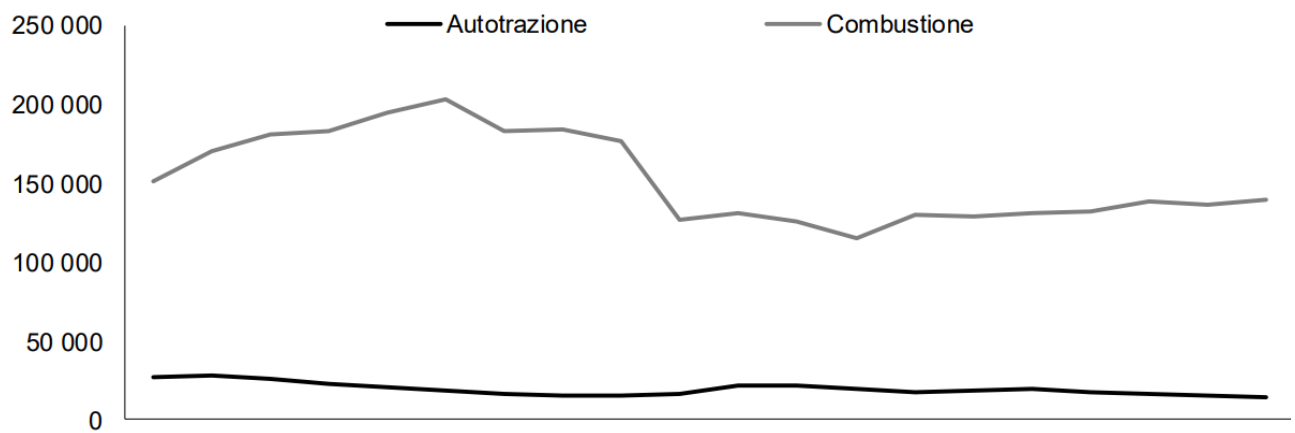


Figure 112 - Ventas de GPL, 2000-2019 (t). Source: Élaboration du REF-E à partir des données de l'EMS

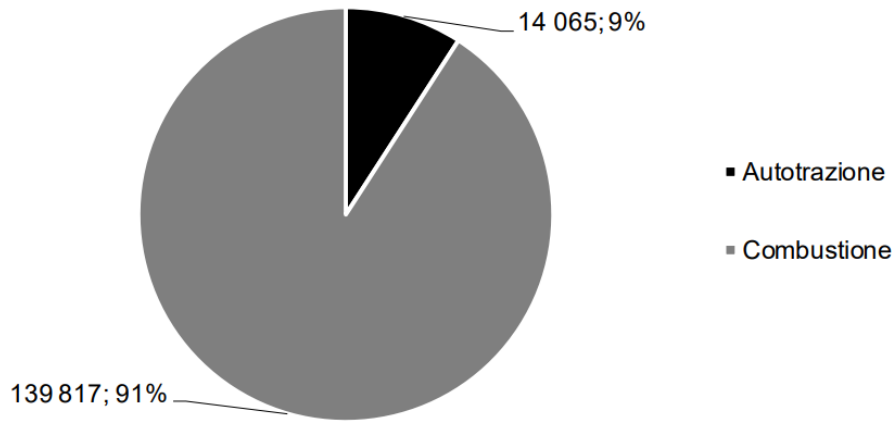


Figure 113- Ventes de GPL, 2019 (t et%). Source: Élaboration du REF-E à partir des données de l'EMS

Selon les statistiques du MiSE en 2019, 32% (44 946 t) ont été vendues par le biais de bouteilles, 23% (32 726 t) par des approvisionnements en citernes et les 45% restants (62 145 t) d'autres manières, non spécifiées par les statistiques du MiSE (**figure 23**). Dans cette dernière valeur sont compris les volumes de GPL et de propane aérien, distribués par les réseaux de distribution de gaz, autres que le gaz naturel en exploitation en Sardaigne.

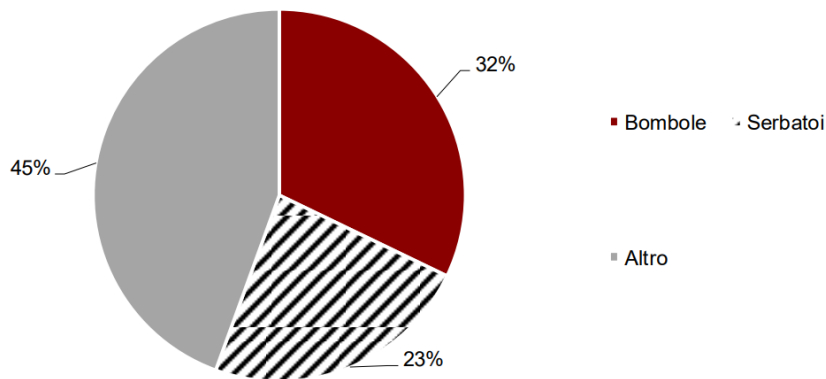


Figure 114 - Ventes de GPL par mode, 2019 (%)

Les tendances régionales des ventes de GPL par mode, de 2014 à 2019, sont présentées dans la Figure 115.

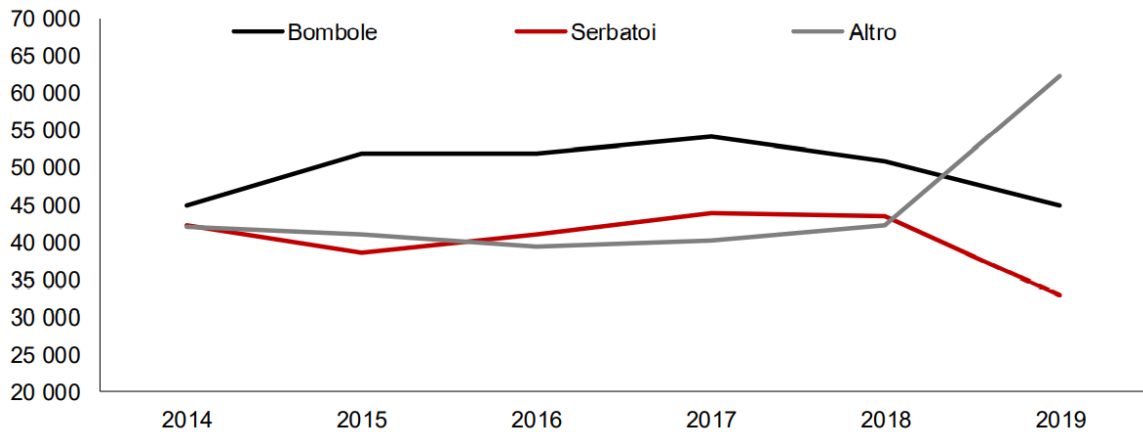


Figure 115 - Ventes de GPL par mode, 2014-2019 (t). Source: Élaboration du REF-E à partir des données de l'EMS

### 1.8 Réseaux d'air isolés pour le GPL ou le propane

Selon les données de l'Autorité de régulation des réseaux énergétiques et de l'environnement (ARERA), en 2019 en Sardaigne, les réseaux de distribution sous concession ont fourni 14,3 millions de mètres cubes de gaz autres que le gaz naturel (Figure 116): dont environ 11,7 millions de mètres cubes d'air propane (16,6 ktep) et environ 2,6 millions de mètres cubes de GPL (5,1 ktep).

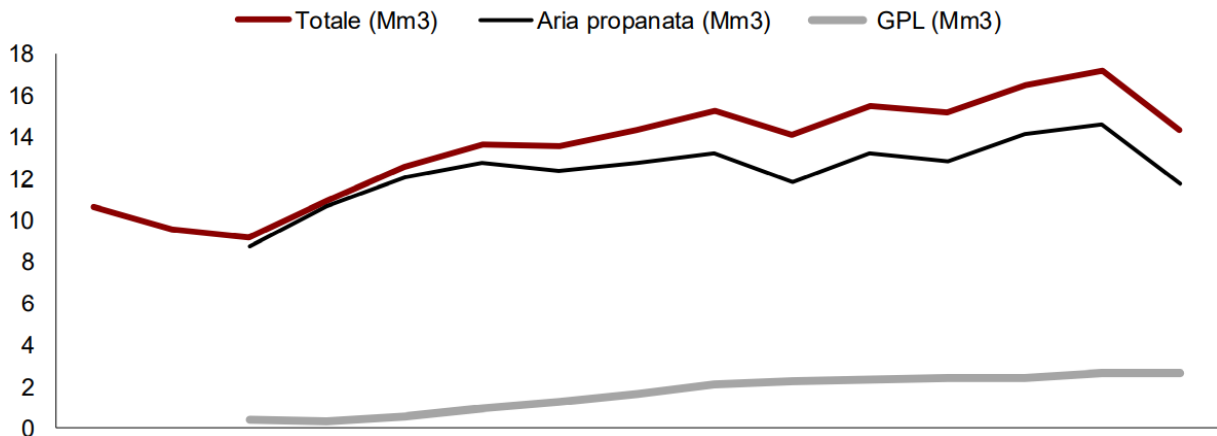


Figure 116 - Volumes de gaz autres que le gaz naturel distribués par les réseaux isolés, 2005-2019 (Mm3)

:

Les volumes fournis par les réseaux de distribution de gaz, autres que le gaz naturel, en Sardaigne sont passés d'environ 10 millions de mètres cubes en 2005 à un peu plus de 14



millions en 2019, ce qui équivaut à environ 21,8 ktep de contenu énergétique (Figure 117). Alors que la distribution de GPL a maintenu une *tendance* à la hausse au cours des années considérées, l'offre d'air propane a connu un modeste déclin après avoir atteint un pic d'environ 17 millions de mètres cubes en 2018 (-20% par rapport à 2019).

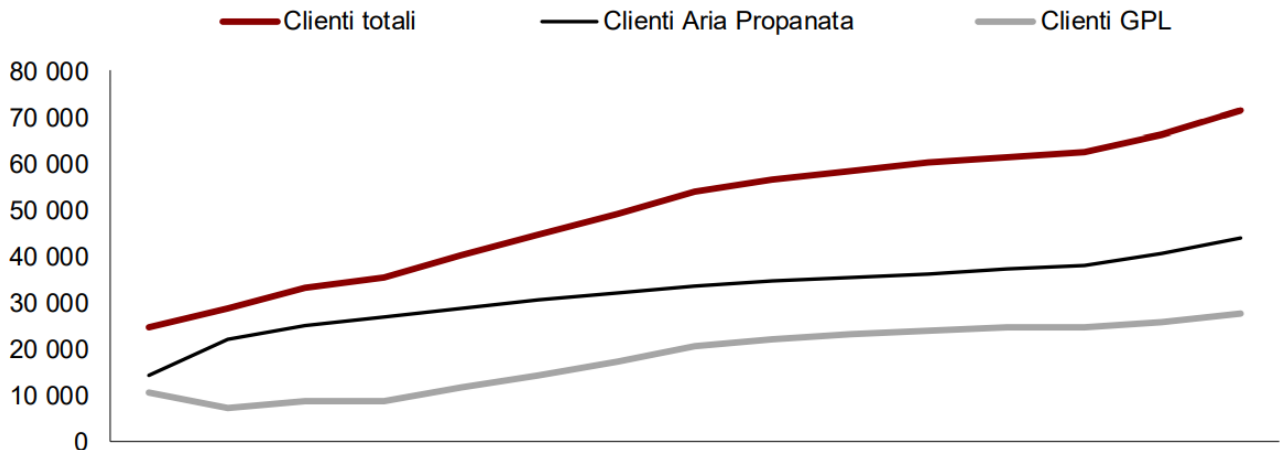


Figure 117 - Utilisateurs de gaz autres que le gaz naturel desservis par des réseaux isolés, 2005-2019 (n).  
 Source: élaboration du REF-E à partir des données ARERA

Selon les données de l'ARERA, les utilisateurs du réseau de gaz sont passés de 24 500 en 2005 à 71 500 en 2019, soit une augmentation de plus de 190%. En 2019, près de 44 000 (61%) sont utilisateurs de réseaux aériens de propane et 27 700 (39%) de réseaux de GPL.

Ces dernières années, en moyenne, les réseaux qui distribuent du GPL ont fourni environ 95 mètres cubes/usager par an, tandis que ceux qui distribuent du propane aérien ont fourni environ 350 mètres cubes/usager par an.

De 2005 à 2019, en 15 ans, le développement des réseaux de distribution de gaz, autre que le gaz naturel, en Sardaigne a presque triplé, passant de 840 à près de 2 500 km (Figure 118). En 2019, environ 48% sont des réseaux à moyenne pression, environ 51% sont des réseaux à basse pression, tandis que seulement 0,3% sont des réseaux à haute pression. Pour les réseaux sardes, le rapport entre l'extension linéaire et le nombre d'usagers desservis aujourd'hui est, en moyenne, d'environ 35 mètres linéaires par usager desservi.

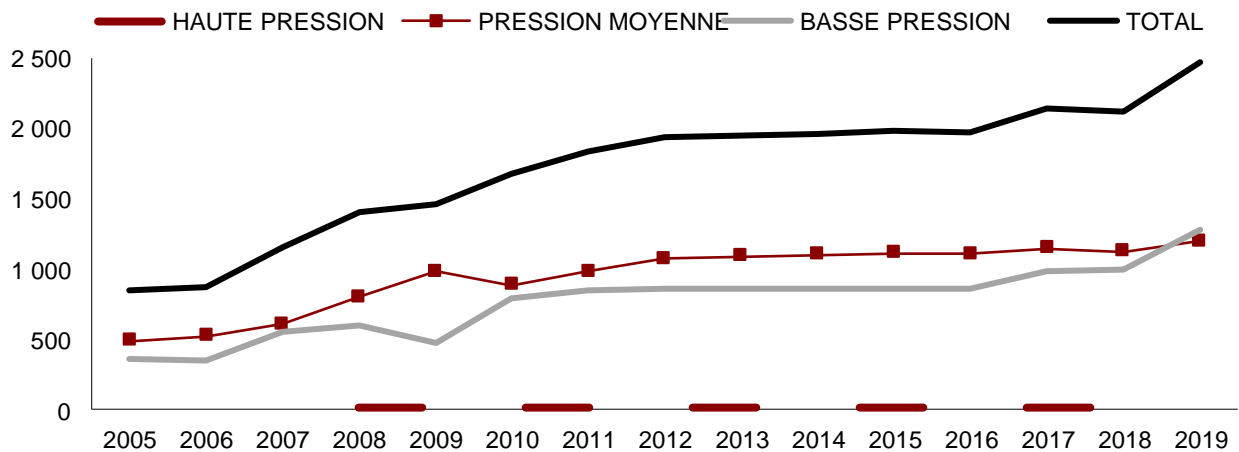


Figure 118 - Développement des réseaux de distribution de gaz autres que le gaz naturel, 2005-2019 (km).  
 Source: élaboration du REF-E à partir des données ARERA

Selon les données de l'ARERA, de 2005 à 2019, les communes desservies par les réseaux de gaz sont passées de 44 à 115 (+161%). En 2019, on compte 9 opérateurs gérant des réseaux de distribution en exploitation (Figure 119).

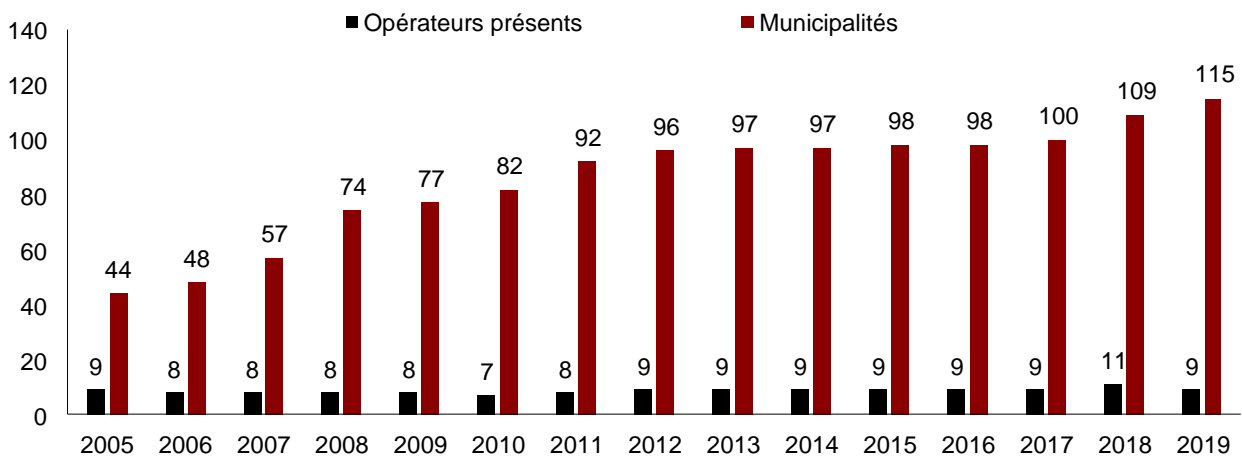


Figure 119 - Opérateurs et communes desservies par des réseaux de distribution de gaz autres que le gaz naturel, 2005-2019 (n). Source: élaboration du REF-E à partir des données ARERA

### 3.11 Consommation pour la transformation de l'énergie en Sardaigne

#### 3.11.1 Consommation de raffinage et marché régional des produits pétroliers

L'activité de raffinage exercée par l'usine SARAS de Sarroch représente le principal secteur de transformation des ressources énergétiques en Sardaigne. Entre 2000 et 2019, la raffinerie SARAS a absorbé en moyenne 14 millions de tonnes de pétrole brut par an (Figure 120). La production de produits pétroliers est en moyenne de 12 millions de tonnes par an, soit environ 7 fois la demande totale actuelle de l'île en produits pétroliers au cours des dernières années (environ 1,5 million de tonnes par an en moyenne).

Les volumes de diesel et d'essence produits par la raffinerie sont dix fois supérieurs à ceux absorbés par le marché sarde et, par conséquent, sont principalement destinés aux marchés nationaux et internationaux des produits pétroliers. En 2019, les volumes produits de diesel et de kérosène se sont élevés à 7,5 millions de tonnes, tandis que ceux de l'essence et du *naphta vierge ont atteint* 4 millions de tonnes. Dans le cas des fiouls et du GPL, les volumes produits par la raffinerie sont du même ordre de grandeur que ceux absorbés par le marché sarde. En 2019, les volumes produits de fiouls et autres semi-produits lourds se sont élevés à environ 600 mille tonnes, tandis que ceux de GPL ont atteint près de 300 mille tonnes. La production totale de RAT (le résidu lourd de la distillation du pétrole brut) s'est élevée à environ 1 million de tonnes en 2019. Ce produit est destiné au processus de gazéification pour la production de *gaz de synthèse* pour la génération thermoélectrique (expliqué dans le paragraphe suivant).

Le marché sarde de l'énergie, notamment pour la consommation finale dans le secteur industriel, constitue également un débouché important pour certains sous-produits des activités de raffinage de l'usine de Sarroch, tels que le gaz de raffinerie, le *coke de pétrole* et le soufre.

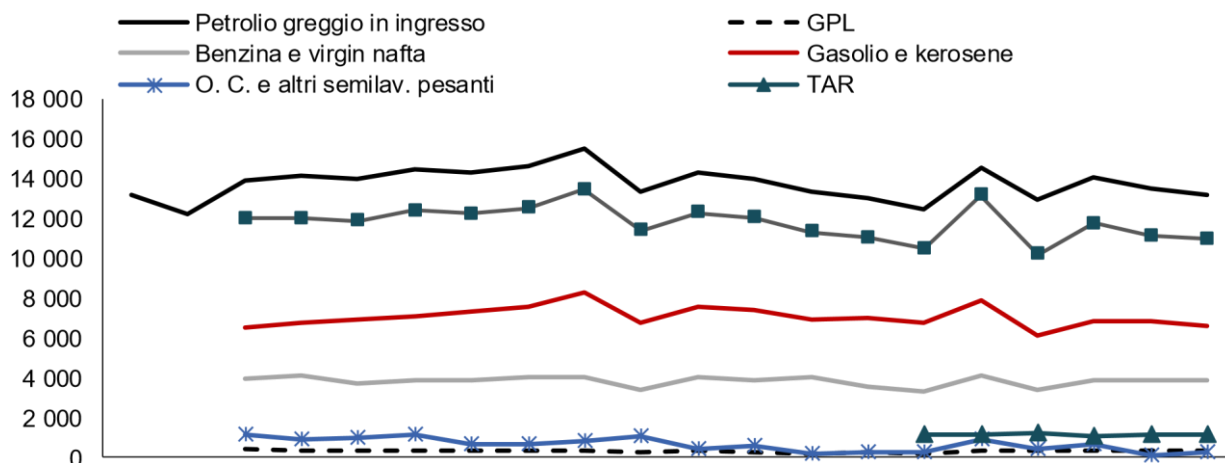


Figure 120 - Activité de raffinage, 2000-2019 (kt). Source: Élaboration du REF-E à partir des données de l'UP, de la région Sardaigne et de Saras.

Les produits de raffinerie ne sont pas la seule source de produits pétroliers pour le marché régional, sur l'île il y a un certain nombre de dépôts côtiers pour les huiles minérales situés dans les ports d'Oristano, Porto Torres, Porto Vesme, et Porto Foxi - Sarroch, qui fournissent une alternative pour l'approvisionnement en essence, diesel, GPL et fiouls par les grossistes et les négociants qui vendent aux utilisateurs finaux dans les différents secteurs d'utilisation.

Le marché régional est principalement approvisionné par les produits de raffinage, qui sont vendus aux grossistes opérant dans les dépôts de l'île, souvent avec des contrats de *swap* dans d'autres dépôts pétroliers en dehors de la Sardaigne.

### 3.11.2 Consommation par les opérations thermoélectriques

En ce qui concerne le secteur de la production d'électricité, l'analyse ne peut se limiter à une dimension régionale, en raison de la nature même de l'infrastructure et du marché italien. En particulier, avec le démarrage de la SAPEI, la Sardaigne est devenue une région exportatrice d'électricité, même face à une demande intérieure en baisse (Figure 121).

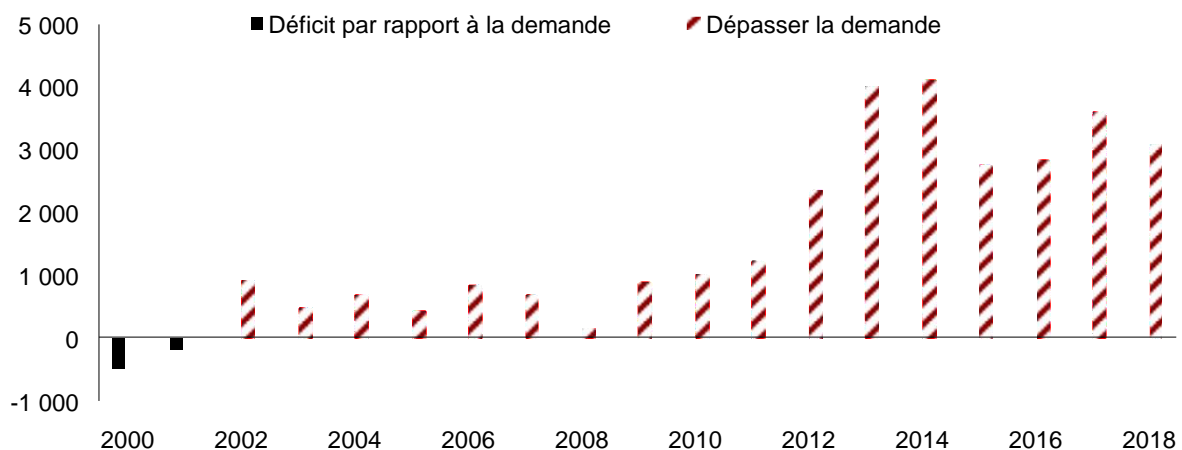


Figure 121 - Bilan régional des importations et exportations d'électricité, 2000-2018 (GWh). Source: élaboration du REF-E à partir des données Terna

Si la production est relativement constante au fil des années, de 2000 à 2019, la part des énergies renouvelables (représentant 27% du total) a fortement augmenté, dépassant 300 ktep en 2019, contrairement à la production hydroélectrique issue du pompage qui représente une très faible part du *mix* avec un peu plus de 9 ktep (1% du total). La production d'origine fossile a suivi une *tendance* à la baisse de 2000 à 2016, puis s'est stabilisée à une moyenne de 870 ktep depuis 2017. Toutefois, les sources fossiles continuent de représenter la plus grande part du *mélange*, soit près de 72% du total (Figure 122).



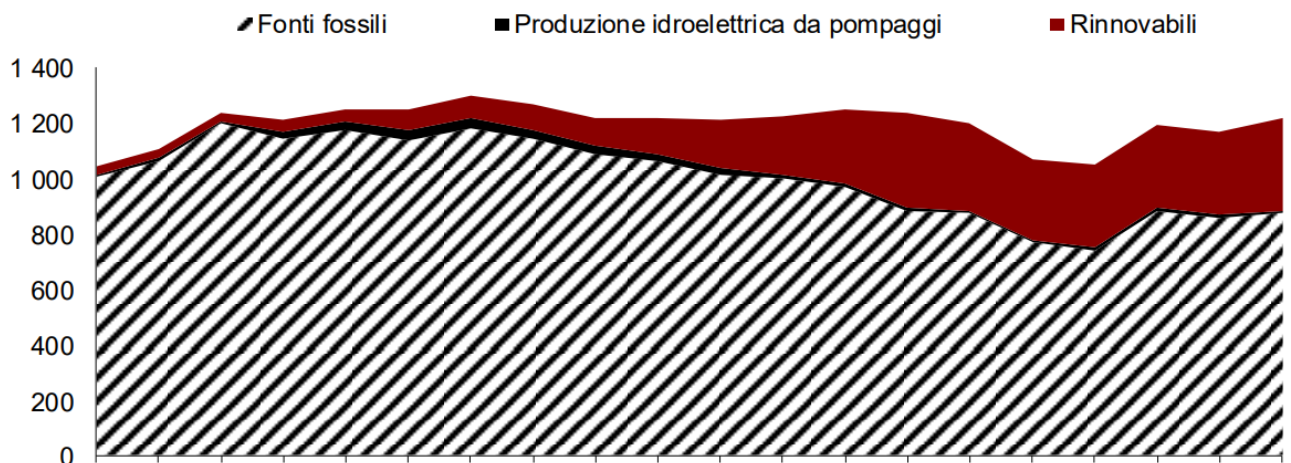


Figure 122- Composition de la production d'électricité, 2000-2019 (ktep). Source: élaboration du REF-E à partir des données Terna

Depuis quelques années, la consommation d'énergie primaire provenant de combustibles fossiles pour la production d'électricité se compose de deux éléments: les produits pétroliers et le charbon. La consommation de produits pétroliers pour produire de l'électricité provient principalement de la centrale de Sarlux, qui est liée à la raffinerie de Sarroch. La centrale utilise presque exclusivement du gaz de raffinerie obtenu par la gazéification de la fraction lourde des produits de raffinerie (TAR). L'électricité produite est partiellement absorbée par le processus de raffinage et est incluse dans la consommation du secteur énergétique et non dans la consommation industrielle finale. La production des centrales thermiques au charbon de Sardaigne (Fiumesanto et Sulcis) est absorbée par la demande du marché au niveau régional et national.

La production thermoélectrique totale en Sardaigne en 2018 (**figure 32**) était d'environ 10 300 GWh, couverte à 95% par l'utilisation de sources fossiles (environ 9 800 GWh) et les 5% restants par la biomasse (environ 440 GWh). La production fossile se distingue dans la production au charbon, qui couvrait en 2018 plus de 30% du *mix* thermoélectrique sarde (plus de 4 000 GWh) et les produits pétroliers, qui constituaient plus de 40% du *mix* en 2018, avec environ 5 600 GWh. La production totale de sources renouvelables en Sardaigne en 2018 a presque atteint 3 000 GWh, couvrant globalement environ 22% du *mix* dont 1 672 GWh d'origine éolienne, 906 GWh de solaire photovoltaïque et 419 GWh de production hydraulique. La production hydroélectrique par pompage, comme mentionné ci-dessus, ne représente que 1% du total.

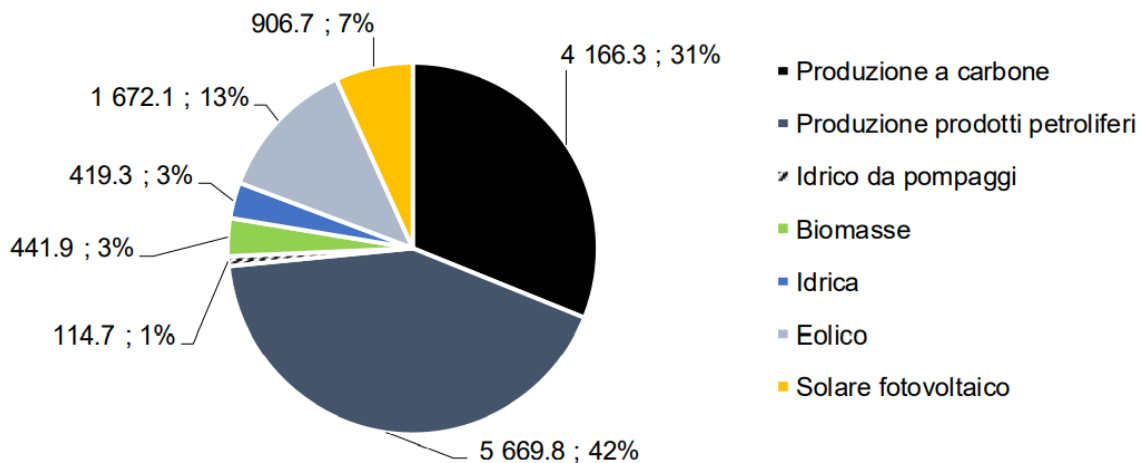


Figure 123- Composition du mix de production, 2018 (GWh). Source: Élaboration du REF-E à partir des données Terna.

### 3.12 Potentiel de pénétration du méthane en Sardaigne

L'évaluation des perspectives de pénétration du gaz naturel en Sardaigne utilise comme point de départ les données sur les consommations énergétiques de l'île 2000-2019 analysées au paragraphe 3.9 et le scénario de référence pour l'évolution des consommations jusqu'en 2030 dans les différents secteurs illustré dans le paragraphe suivant celui-ci.

Le principal agrégat *cible* de la pénétration du gaz naturel dans la région est la consommation énergétique finale de produits pétroliers à laquelle il faut ajouter la consommation de combustibles fossiles pour la production d'électricité.

Ensuite, on évalue deux scénarios de pénétration du gaz naturel dans la consommation à la place des produits pétroliers utilisés dans les différents secteurs, appelés "Base" et "Haute pénétration". L'analyse du potentiel de pénétration tient également compte des possibilités offertes par le secteur de la production d'énergie thermique.

Pour les scénarios de pénétration potentielle réelle du gaz naturel dans les différents secteurs, on évalue également le rôle que pourraient jouer dans la méthanisation de la Sardaigne les deux *chaînes* possibles d'approvisionnement en gaz naturel en aval de la fourniture de GNL dans des installations de stockage côtières ou flottantes: 1) celle basée sur l'utilisation d'installations de regazéification, du réseau de transport de gaz naturel et des réseaux de distribution; et 2) celle basée sur l'aval du GNL (SSLNG) par des navires cryogéniques.

La Figure 114 suivante schématise les clés utilisées pour réaliser l'évaluation du potentiel de pénétration du gaz naturel en Sardaigne.

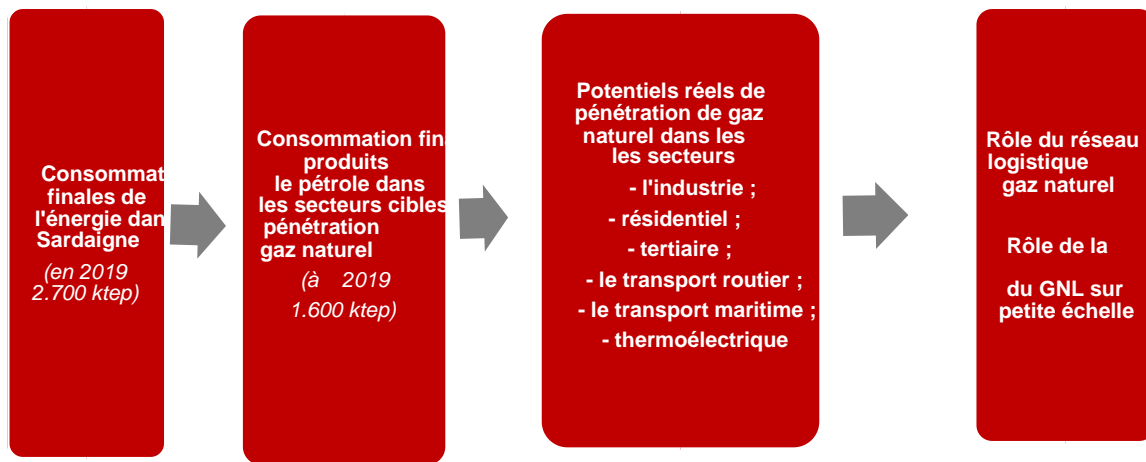


Figure 124- Consommation d'énergie, secteurs cibles et potentiel de pénétration du GN (Source: élaboration REF-E)

### 3.12.1 Scénario d'évolution de la consommation à l'horizon 2030

Les prévisions et les scénarios d'évolution de la consommation finale d'énergie ont été élaborés à partir des données historiques 2000-2019 illustrées au paragraphe 3.9 (Figure 94). Les scénarios à l'horizon 2030 ont été élaborés à partir des *tendances* des scénarios "de base" et "cible" adoptés par le plan national intégré pour l'énergie et le climat de l'Italie<sup>32</sup>, notifié par le gouvernement à la Commission européenne dans les premiers jours de 2020. Les prévisions pour 2020 tiennent compte des effets de la crise économique induite par l'urgence pandémique sur la consommation d'énergie dans certains secteurs. Dans certains cas, comme les transports, ces effets sont également attendus dans les premières années. Pour la consommation d'énergie dans son ensemble, il n'y a pas d'effets structurels sur les prévisions des scénarios 2030.

Aux fins de l'évaluation du potentiel de pénétration du méthane en Sardaigne entre 2021 et 2030, la projection des *tendances* sectorielles nationales indiquées dans les scénarios du PNIEC est considérée comme adéquate pour la réalité régionale sarde.

Le scénario "de base" du PNIEC prévoit une réduction de 2,7% de la consommation finale totale d'énergie sur 10 ans, avec une réduction de 1,1% les cinq premières années et une accélération de cette *tendance* la deuxième année (-1,6%). Ce scénario prévoit une augmentation significative de l'efficacité énergétique, même dans le cadre des politiques

<sup>32</sup> [https://www.mise.gov.it/images/stories/documenti/PNIEC\\_finale\\_17012020.pdf](https://www.mise.gov.it/images/stories/documenti/PNIEC_finale_17012020.pdf)

actuelles, et la poursuite du processus de découplage entre la valeur de la production économique et celle de la consommation d'énergie. Ces *tendances* sont différenciées dans les différents secteurs sur la base d'hypothèses spécifiques. Le scénario "cible" du PNIEC indique une réduction de la consommation globale d'énergie finale de 10% sur la décennie avec une progression linéaire liée à la réalisation des objectifs d'efficacité énergétique 2030 fixés par l'UE, et en particulier à la trajectoire fournie par la réalisation de l'objectif national d'économies obligatoires dans la consommation d'énergie finale défini par l'article 7 de la directive européenne pour l'efficacité énergétique. Dans le PNIEC, les objectifs de réduction sont différenciés dans les secteurs de consommation en fonction des différents potentiels d'augmentation de l'efficacité énergétique et de leurs coûts.

Dans le cas de la Sardaigne, en tenant compte du poids spécifique des différents secteurs de la consommation d'énergie finale (Figure 125) comme effet de la crise économique induite par l'urgence pandémique, une réduction de la consommation d'énergie finale globale d'environ 12%, par rapport à 2019, est prévue pour 2020, principalement liée aux conséquences dans les secteurs des transports, de l'industrie et du tertiaire.

En ce qui concerne le **secteur résidentiel**, le scénario "de base" adopté prévoit une réduction de la consommation d'énergie de 4,6% sur 10 ans, avec une réduction de 3,5% au cours des cinq premières années et une décélération de cette *tendance* au cours de la seconde (-1,2%). Ce scénario prévoit une augmentation significative de l'efficacité énergétique des bâtiments résidentiels, même dans le cadre des politiques actuelles, et la poursuite du processus de découplage entre la tendance des processus sociodémographiques, qui prévoient une augmentation du nombre de ménages et de logements occupés par des résidents en Sardaigne également. Le scénario "cible" indique une réduction de la consommation finale globale d'énergie dans le secteur résidentiel d'environ 10% au cours de la décennie, liée à de nouvelles augmentations de l'efficacité énergétique dans les bâtiments résidentiels, obtenues grâce aux nouvelles politiques visant à atteindre les objectifs de 2030.

Aussi en Sardaigne sur la base des *tendances* sur une base mensuelle de la consommation dans le résidentiel ne sont pas prévus des effets significatifs de la crise pandémique à la fin de 2020 sur le niveau de la consommation dans le résidentiel par rapport à ceux de 2019.

En 2030, la consommation du secteur résidentiel en Sardaigne serait d'environ 636 ktep dans le scénario "de base" et d'environ 598 ktep dans le scénario "cible", par rapport au niveau de 2020 d'environ 667 ktep.

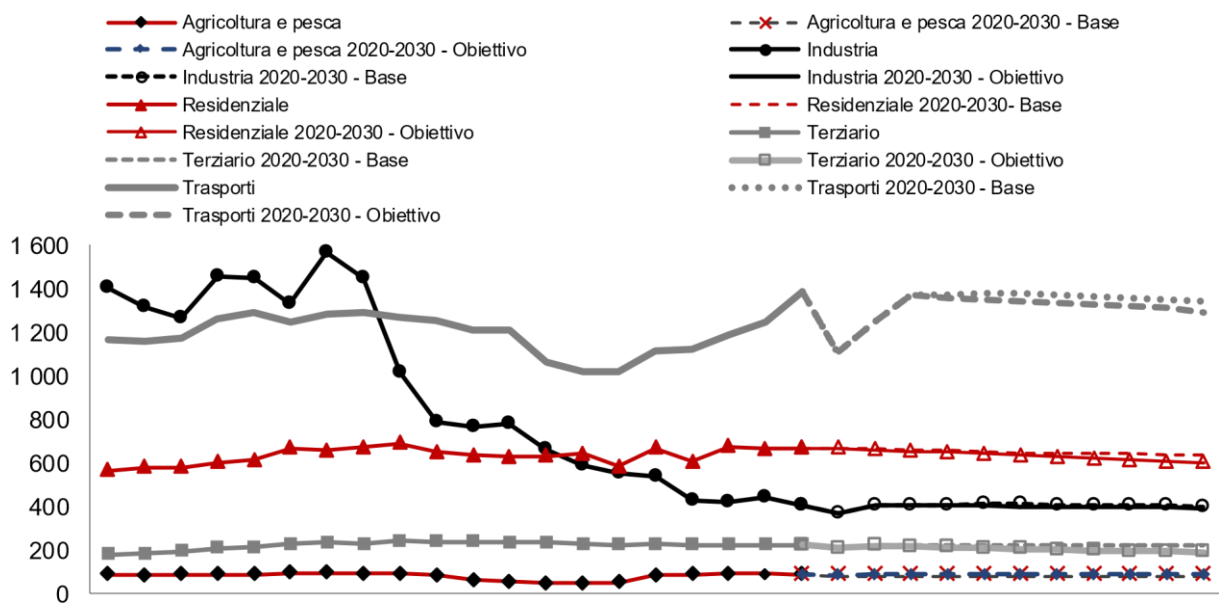


Figure 125 - Consommation énergétique FINALE 2000-2019 et prévisions et scénarios 2020-2030. Source: Élaborations et estimations du REF-E sur la base des données de Terna, Mse, Enea, Gse et de la région Sardaigne.

En ce qui concerne le **secteur tertiaire**, le scénario "de base" adopté prévoit une grande stabilité de la consommation d'énergie au cours de la décennie. Ce scénario suppose que les augmentations significatives de l'efficacité énergétique dans les utilisations énergétiques du secteur des services, même dans le cadre des politiques actuelles, seront compensées par les augmentations attendues du niveau d'activité en termes de valeur ajoutée du secteur. Le scénario "cible" indique une réduction de la consommation totale d'énergie finale du secteur tertiaire d'environ 15% au cours de la décennie, liée à de nouvelles augmentations de l'efficacité énergétique dans le secteur tertiaire, obtenues grâce aux nouvelles politiques visant à atteindre les objectifs de 2030.

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

En 2030, la consommation du secteur tertiaire en Sardaigne serait d'environ 220 ktep dans le scénario "de base" (stable par rapport à la valeur de 220 ktep d'avant la crise) et d'environ 187 ktep dans le scénario "cible".

Dans le **secteur industriel**, le scénario "de base" adopté prévoit une réduction de la consommation d'énergie de 1,8% sur 10 ans, avec une stabilité substantielle (+0,2%) dans la première période de cinq ans et une réduction de 2% dans la seconde. Ce scénario suppose que les augmentations de l'efficacité énergétique dans l'utilisation de l'énergie dans l'industrie, y compris les politiques actuelles, sont largement compensées par les



augmentations prévues du niveau d'activité en termes de valeur ajoutée de l'industrie au cours des cinq premières années. Le scénario "cible" indique une réduction de la consommation finale d'énergie de l'ensemble de l'industrie d'environ 3,8% au cours de la décennie, une réduction liée à de nouvelles améliorations de l'efficacité énergétique dans les activités industrielles réalisées comme effet des nouvelles politiques visant à atteindre les objectifs de 2030.

En Sardaigne, sur la base des *tendances* nationales sur une base mensuelle de la consommation industrielle, comme effet de la crise économique en cours, on prévoit une réduction de la consommation du secteur à la fin de 2020 de 10% par rapport à 2019, qui se résorbera dès 2021.

En 2030, la consommation finale du secteur industriel en Sardaigne serait d'environ 399 ktep dans le scénario "de base" (essentiellement stable par rapport à la valeur d'avant la crise de 407 ktep), et d'environ 187 ktep dans le scénario "cible".

Ces scénarios ne tiennent pas compte des effets de la réactivation éventuelle des usines de transformation de l'aluminium en Sardaigne.

Dans le **secteur des transports**, le scénario "de base" adopté prévoit une réduction de la consommation d'énergie de 2,6% sur 10 ans, avec une légère réduction (-0,5%) au cours des cinq premières années et une plus forte réduction de 2,6% au cours de la deuxième. Ce scénario suppose que les effets attendus des gains d'efficacité énergétique dans l'utilisation de l'énergie dans les transports, dans le cadre des politiques actuelles dans le secteur des transports, l'emporteront sur les effets des augmentations importantes des niveaux d'activité prévues dans tous les segments de ce secteur. Le scénario "cible" indique une réduction de la consommation totale d'énergie finale tertiaire d'environ 6,4% au cours de la décennie, liée à de nouvelles augmentations de l'efficacité énergétique dans les transports, obtenues grâce à de nouvelles politiques visant à atteindre les objectifs de 2030.

En Sardaigne, sur la base des *tendances* sur une base mensuelle de la consommation de transport, comme un effet de la crise économique en cours, une réduction de la consommation dans le secteur est prévue à la fin de 2020 de 20% par rapport à 2019; qui sera réabsorbée par rapport aux *tendances* prévues à partir de 2022.

En 2030, la consommation finale du secteur des transports en Sardaigne serait d'environ 1 340 ktep dans le scénario "de base", et d'environ 1 290 ktep dans le scénario "cible".

En ce qui concerne le **secteur agricole**, tant le scénario "de base" que le scénario "cible" adoptés prévoient une stabilité substantielle de la consommation d'énergie au cours de la décennie par rapport aux niveaux actuels (environ 80 ktep).

### 3.12.2 Consommation de produits pétroliers dans les secteurs cibles

Les scénarios d'évolution de la consommation finale d'énergie adoptés pour la Sardaigne d'ici 2030 permettent d'utiliser les niveaux actuels de consommation de pétrole dans les différents secteurs comme référence de base pour évaluer le potentiel de pénétration du gaz naturel. En particulier, pour le secteur des transports, il est nécessaire de distinguer ceux qui concernent: le transport routier léger, le transport routier lourd, le transport maritime et le transport ferroviaire. Ces consommations représentent aujourd'hui un total d'environ 1 600 ktep, et plus précisément: 905 ktep pour le transport routier léger, 104 ktep pour le transport routier lourd, environ 185 ktep pour le transport maritime, 5 ktep dans le transport ferroviaire, environ 194 ktep dans l'industrie, 200 ktep dans le résidentiel et environ 16 ktep dans le secteur tertiaire.

Ces valeurs peuvent être considérées comme des maximums théoriques potentiels et comme le point de départ d'évaluations spécifiques, pour chacun des différents secteurs, visant à évaluer le potentiel réel de pénétration technique et économique du gaz naturel en Sardaigne.

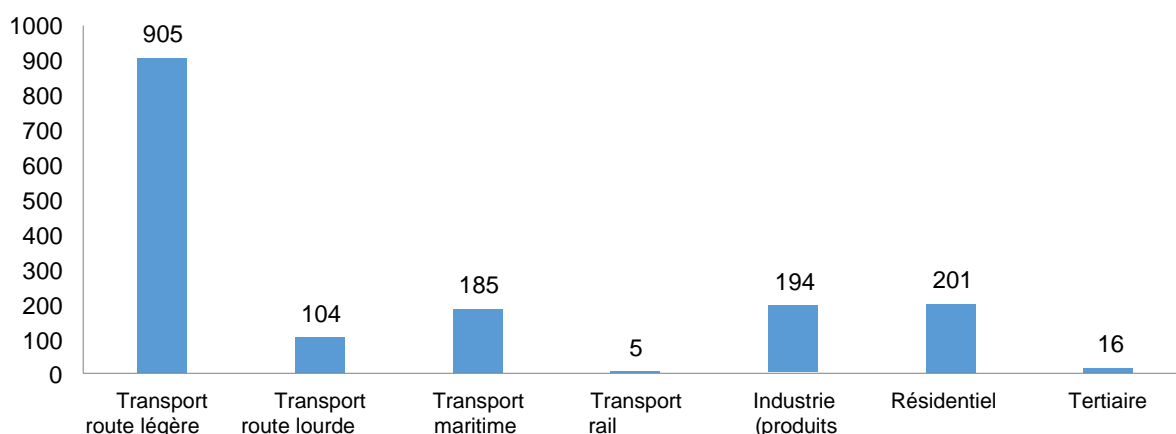


Figure 126- Consommation finale de produits pétroliers dans les secteurs cibles de la méthanisation, 2019 (ktep) 33

### 3.12.3 Potentiel réel de pénétration du gaz naturel

Afin d'évaluer le potentiel réel de pénétration du gaz naturel dans les différents secteurs cibles en Sardaigne d'ici 2030, deux scénarios sont formulés, appelés "Base" et "Haute pénétration". Les deux scénarios supposent le rétablissement des conditions de prix du GNL par rapport aux marchés internationaux du pétrole et du GPL à court et moyen terme.

<sup>33</sup>Source: traitement REF-E

Le **scénario de pénétration "Base"** suppose l'absence de nouvelles mesures de soutien au déploiement du GNL et du GNC comme carburants alternatifs dans le transport routier et maritime, la non-adoption de nouvelles mesures de politique environnementale telles que la création d'une zone SECA dans les eaux de la Sardaigne, et le maintien du cadre réglementaire pertinent introduit par l'ARERA en 2019 pour les réseaux de distribution<sup>34</sup> et les infrastructures d'approvisionnement en GNL<sup>35</sup>, sans la mise en œuvre de ce qui est prévu pour la méthanisation de la Sardaigne dans les adresses du PNIEC et par les dispositions de l'article 60 du décret de simplification.

Le **scénario de forte pénétration, en revanche**, est basé sur l'introduction de nouvelles mesures de soutien pour le déploiement du GNL et du GNC comme carburants alternatifs dans le transport routier et maritime, sur la mise en œuvre de nouvelles mesures de politique environnementale, telles que l'établissement d'une zone SECA dans les eaux sardes, et sur la mise en œuvre des dispositions pour la conversion au gaz naturel du réseau méthane de la Sardaigne prévues par les directives du PNIEC et les dispositions de l'article 60 du décret-loi de simplification, avec l'introduction de mesures réglementaires pour les infrastructures nécessaires au processus de méthanisation qui permettront la pleine intégration du réseau de transport et de distribution du gaz naturel en Sardaigne avec le réseau national, avec l'application des mécanismes de péréquation des coûts d'infrastructure qui sont appliqués dans le reste du pays aux réseaux de transport et de distribution.

Pour le **secteur résidentiel dans** chacun des deux segments du secteur, c'est-à-dire centralisé et autonome, les perspectives de pénétration de toutes les sources d'énergie et des technologies connexes ont été évaluées, en même temps que l'"agressibilité" de ces dernières par le gaz naturel, à partir du moment où il sera disponible dans la Région. L'analyse se base sur l'importante recherche et enquête auprès des opérateurs réalisée par REF-E dans un passé récent, et considère les aspects techniques et technologiques liés aux choix d'investissement dans les systèmes de *chauffage*, les aspects réglementaires, les aspects économiques (bien qu'en termes qualitatifs), la propension à changer de technologie, et enfin des aspects de moindre importance tels que l'impact environnemental et la sensibilité des consommateurs à cet aspect.

L'hypothèse qui, pour le secteur résidentiel, a le plus d'impact sur les deux scénarios est celle du cadre réglementaire. Dans le scénario "de base", le cadre réglementaire déjà défini pourrait fixer des conditions tarifaires pour les usagers permettant le *passage* au gaz naturel des réseaux de distribution concédés dans les bassins régionaux et une augmentation

---

<sup>34</sup> ARERA, Résolution 474/2019/R/gas du 19 novembre 2019 - "Critères de régulation tarifaire du service de regazéification du gaz naturel liquéfié pour la cinquième période de régulation (2020-2023)". (RTRG), <https://www.arera.it/it/docs/19/474-19.htm>.

<sup>35</sup> ARERA, Résolution 570/2019/R/gas - Règlement des tarifs des services de distribution et de mesure du gaz pour la période réglementaire 2020-2025, <https://www.arera.it/it/docs/19/570-19.htm>.

limitée de la demande des usagers par rapport à la demande actuelle des réseaux alimentés en air propane ou en GPL. Dans le scénario "Pénétration élevée", le cadre réglementaire déterminera au contraire des conditions tarifaires pour les usagers qui, en plus de la *commutation des réseaux* déjà en fonctionnement, permettront une augmentation significative de la demande des usagers par rapport au niveau actuel, en ligne avec celle des réseaux alimentés en gaz naturel dans des contextes climatiques et territoriaux similaires.

En résumé, en ce qui concerne le segment centralisé, les scénarios de base et de forte pénétration du gaz sont les suivants. Le diesel et le GPL, qui représentent actuellement environ 80% de la consommation de *chauffage* dans le segment, subissent, dans les deux scénarios, la pénétration du gaz naturel (en plus de continuer à subir celle des énergies renouvelables). La pénétration du gaz reste cependant partielle, principalement en raison de considérations techniques, liées à la difficulté de remplacer les centrales de chauffage en copropriété fonctionnant au diesel (qui sont prépondérantes) par des centrales en copropriété fonctionnant au gaz. En fait, on estime que la pénétration du gaz, pourtant forte dans les deux scénarios, peut se faire principalement en remplaçant les centrales en copropriété (pétrole) par des chaudières autonomes (gaz). Dans le scénario de base, la pénétration du gaz par rapport aux alternatives fossiles intervient à la fin de la vie de l'installation, tandis que dans le scénario de pénétration élevée, on suppose que le remplacement intervient avant la fin de la vie (la moitié de la vie utile).

L'électricité, qui couvre une part insignifiante mais croissante de la consommation actuelle, n'est pas considérée comme attaquable par le gaz naturel, compte tenu du fait que les systèmes utilisant des pompes à chaleur sont construits là où il existe des conditions techniques préalables permettant de réaliser tous les avantages de la technologie, et que le choix du vecteur électrique est généralement difficile à inverser. Les technologies de l'électricité sont également supposées être en tête en ce qui concerne les parts de marché relatives à la "nouvelle" demande de *chauffage* et de systèmes de production connexes (ménages dans des logements neufs et ménages s'équipant d'un système de chauffage pour la première fois, souvent à la suite de travaux de rénovation): dans le scénario de base, l'électricité couvre la totalité de la nouvelle demande, dans le scénario de forte pénétration du gaz, elle en couvre 70%, et le reste de la demande est satisfait par les systèmes à gaz.

Pour la biomasse, qui couvre une part minoritaire mais non négligeable de la consommation actuelle (environ 15%), des considérations similaires à celles faites pour les technologies électriques s'appliquent, dans le sens où l'attaquabilité est limitée par des questions de conditions techniques favorables et de rigidité dans le choix de la technologie (barrières à la sortie de nature différente). A ces considérations s'ajoute la forte incidence de l'adoption des technologies de la biomasse dans des contextes géographiques où l'arrivée du réseau de gaz est peu probable: cette hypothèse découle de l'observation de la dynamique de diffusion spatiale des technologies de chauffage dans le reste du territoire italien. Sur la

base de ce qui a été illustré, l'hypothèse liée au scénario de base est celle d'une pénétration de la biomasse aux taux historiques enregistrés au cours de la dernière décennie (la biomasse n'est pas attaquée par le gaz, au contraire elle continue à pénétrer en soustrayant du marché aux autres combustibles fossiles et, par conséquent, en limitant le marché potentiel du gaz). Dans le scénario de forte pénétration du gaz, le taux de pénétration de la biomasse est plus faible, mais reste positif (il représente la moitié du taux historique), de sorte qu'il y a plus d'espace de marché pour le gaz.

En revanche, en ce qui concerne le segment autonome, les scénarios de base et de forte pénétration du gaz sont caractérisés comme suit.

Le diesel et le GPL, qui représentent actuellement environ 30% de la consommation de *chauffage* dans le segment, souffrent, dans les deux scénarios, de la pénétration du gaz naturel (et continuent de souffrir des énergies renouvelables). Dans ce cas, aucun obstacle particulier, technique ou autre, à la substitution n'est évalué. Dans le scénario de base, la pénétration du gaz par rapport aux alternatives fossiles se produit à la fin de la vie de l'installation, tandis que dans le scénario de pénétration élevée, on suppose que la substitution se produit avant la fin de la vie (la moitié de la vie utile).

L'électricité, qui couvre une part insignifiante mais croissante de la consommation actuelle (moins de 10% si l'on exclut la consommation de *refroidissement*), n'est pas considérée comme attaquable par le gaz naturel, compte tenu des avantages que l'on peut tirer de cette technologie dans les zones climatiques chaudes, et de l'amélioration significative du régime tarifaire pour les clients domestiques qui est en cours d'introduction. L'électricité, comme pour le chauffage central, est supposée être le leader en ce qui concerne la part de marché de la "nouvelle" demande de *chauffage* et de systèmes de production connexes (ménages dans des maisons neuves et ménages qui disposent pour la première fois d'un système de chauffage, souvent à la suite de travaux de rénovation): dans le scénario de base, l'électricité couvre la totalité de la nouvelle demande, dans le scénario de forte pénétration, le gaz couvre 70%, et le reste de la demande est satisfait par des systèmes à gaz.

Pour la biomasse, qui couvre près de 65% de la consommation actuelle, la capacité à être attaquée par le gaz est limitée principalement pour des raisons liées aux coûts variables de la production de chaleur. L'hypothèse retenue pour le scénario de base est que la pénétration de la biomasse se situe aux taux historiques enregistrés au cours de la dernière décennie (la biomasse n'est pas attaquée par le gaz, au contraire elle continue à pénétrer en soustrayant du marché aux autres combustibles fossiles et, par conséquent, en limitant le marché potentiel du gaz).

Dans le scénario de forte pénétration du gaz, le taux de pénétration de la biomasse est supposé nul, évaluant la possibilité de soustraction de la consommation par le gaz une fois qu'il est disponible, principalement pour des raisons non économiques (onéreux de l'approvisionnement en biomasse et de la conduction des équipements connexes). À cet



égard, il convient de souligner que la majeure partie de la consommation d'énergie de la biomasse se produit dans des contextes d'intégration de la biomasse avec une source d'énergie principale: supposer la soustraction des quotas de consommation par le gaz ne signifie pas nécessairement supposer le remplacement des appareils à biomasse par des appareils à gaz, mais cela pourrait entraîner une réduction de l'utilisation des appareils à biomasse au profit de ceux alimentés par des combustibles fossiles (qui seraient transformés en gaz).

En conclusion, pour le secteur résidentiel, on peut estimer en 2030, un niveau de pénétration du gaz naturel qui varie d'environ 40 ktep ou 44 Mmc, dans le scénario de base, à environ 103 ktep ou 114 Mmc, dans le scénario de forte pénétration. Comme déjà illustré, les deux scénarios se distinguent par les hypothèses suivantes: prix du gaz naturel, développement des réseaux de distribution, pénétration de l'électricité dans la consommation des consommateurs domestiques, substitution de la consommation de biomasse par le gaz naturel, et vitesse de pénétration du gaz au détriment des autres combustibles fossiles (diesel et GPL).

Dans le **secteur tertiaire**, les sources évaluées comme pouvant être attaquées par le gaz naturel sont le diesel et le GPL, dont la consommation est largement remplacée par celle du gaz d'ici 2030 dans les deux scénarios. Il s'agit toutefois d'une part absolument minoritaire de la consommation, qui s'élèvera à environ 16 ktep en 2030 (un chiffre en ligne avec celui de 2019). Pour l'électricité, qui représente plus de 90% de la consommation en 2019, on suppose que toute la nouvelle demande est absorbée dans le scénario de base, tandis que dans le scénario de forte pénétration du gaz, la moitié de cette demande est supposée être du gaz, conformément au degré moyen de pénétration de l'électricité dans la consommation d'énergie tertiaire en Italie. Pour le secteur tertiaire, les niveaux de consommation et de pénétration potentielle du gaz, en termes absolus, sont beaucoup plus faibles que pour le secteur résidentiel: dans le scénario de base, on prévoit un peu plus de 10 ktep ou 11,5 Mmc de consommation de gaz en 2030, dans le scénario à forte pénétration de gaz, on prévoit 16 ktep ou 17,5 Mmc.

Pour le secteur **industriel**, en se concentrant uniquement sur la consommation hors électricité, on a évalué l'"attaquabilité" des sources d'énergie qui composent actuellement le *mix* du secteur par le gaz naturel, si le gaz naturel devenait disponible dans la Région. L'analyse se base sur une évaluation des données de consommation disponibles et des caractéristiques des processus de production qui caractérisent les secteurs industriels les plus importants de la Sardaigne, principalement les secteurs chimique et pétrochimique.

Comme on l'a vu, la consommation d'énergie finale non électrique de l'industrie par rapport à l'année 2019 est presque exclusivement constituée de produits pétroliers (Figure 100 et Figure 102): c'est sur cette base que les possibilités de pénétration du gaz naturel ont été évaluées.

Comme nous l'avons vu, le fuel, le GPL et le diesel satisfont environ 62% de l'utilisation directe de produits pétroliers dans le secteur industriel en Sardaigne, auxquels il faut ajouter l'utilisation actuellement très limitée pour la production de chaleur dérivée des processus de cogénération pour la consommation finale dans l'industrie.

L'attaquabilité des produits pétroliers pour la pénétration des gaz est évaluée comme suit.

Les produits constitués de fioul, de carburant diesel et de GPL sont évalués comme étant jusqu'à 75% susceptibles d'être attaqués. Cette évaluation est réalisée en analysant les séries historiques de données relatives à la consommation finale d'énergie dans l'industrie au niveau national. Les données montrent au fil du temps une contraction significative de la part des produits pétroliers utilisés pour répondre à la demande d'énergie thermique du secteur au profit du gaz naturel. Toutefois, cette part s'est stabilisée ces dernières années à des niveaux d'environ 25%. Cela semble indiquer qu'une partie de la consommation finale de produits pétroliers dans l'industrie n'est pas effectivement remplaçable.

Le *coke de pétrole* et les combustibles solides, qui sont principalement utilisés dans les secteurs de la production de ciment et d'acier comme intrants dans le processus de production, même s'ils sont inclus dans les statistiques de consommation d'énergie, ne sont pas évalués comme étant attaqués par le gaz naturel. Cette évaluation est valable pour les deux scénarios.

En ce qui concerne le gaz *combustible* mis à disposition par la raffinerie de Sarroch, on suppose que la part de consommation de l'industrie pétrochimique adjacente à la raffinerie n'est pas affectée par le gaz, en raison des interactions techniques et économiques spécifiques entre les activités de transformation de l'énergie de la raffinerie et l'industrie pétrochimique concernée.

Les scénarios "Base" et "Forte pénétration" pour la consommation finale de produits pétroliers jugés attaquables se distinguent par les différentes hypothèses concernant le cadre réglementaire des conditions d'utilisation des infrastructures de stockage, de regazéification et de transport et l'impact qui en résulte sur les prix de fourniture de gaz naturel aux utilisateurs industriels. Dans le cas du scénario "de base", en l'absence de mécanismes significatifs de péréquation des coûts d'utilisation des infrastructures, on suppose une plus faible pénétration du gaz au détriment des produits pétroliers attaquables, en raison des coûts plus élevés qui pourraient rendre l'utilisation du gaz naturel excessivement chère dans de nombreux cas et donc le *changement de combustible* non viable économiquement.

Les scénarios "Base" et "Pénétration élevée" envisagent un développement différent de l'utilisation du gaz naturel pour la cogénération dans le secteur industriel, conditionné à la fois par les conditions économiques d'approvisionnement en gaz et par la possibilité de respecter les paramètres prévus par les incitations à la cogénération à haut rendement

(CAR). Dans le scénario "Pénétration élevée", on suppose une contribution importante de la cogénération, en supposant qu'environ 50% de la consommation potentielle de chaleur dérivée de l'industrie en Sardaigne est obtenue, d'ici 2030, par des processus de cogénération à haut rendement, tandis que dans le scénario "Base", on s'attendrait encore à un développement important de la cogénération à haut rendement, correspondant à environ 38% de la consommation potentielle de chaleur dérivée de l'industrie. Cela conduit à prévoir, en 2030, une consommation de gaz attribuable à la production de chaleur dérivée par des processus de cogénération de 63 ktep ou 70 Mmc dans le scénario "Forte pénétration", et de 47 ktep ou 52,5 Mmc dans le scénario "Base".

L'hypothèse sur le rendement de conversion est celle qui garantit l'accès aux concessions tarifaires (systèmes d'autoproduction simples) et aux incitations dédiées à la cogénération à haut rendement (CAR), c'est-à-dire 80%: les concessions tarifaires, en particulier, affectent actuellement des parts très proches de 50% de la facture d'électricité d'une installation industrielle de petite ou moyenne taille (raccordée à la moyenne ou à la haute tension) qui prendrait de l'énergie sur le réseau. Sur la base du rendement des centrales de cogénération (on se réfère aux turbines à gaz) disponibles sur le marché, le niveau de consommation indiqué ci-dessus, imputable à la production de chaleur, correspond à une consommation de gaz naturel imputable à la production d'électricité par le processus de cogénération, à l'horizon 2030, égale à 40,4 ktep ou 44,8 Mmc dans le scénario "Haute pénétration", et à 30,3 ktep ou 33,6 Mmc dans le scénario "Base". Cette consommation de gaz naturel attribuable à la production électrique des centrales de cogénération n'est pas considérée dans la consommation de l'industrie et est plutôt incluse dans les estimations pour évaluer le potentiel de pénétration dans le secteur thermoélectrique.

Pour la consommation d'énergie dans le secteur industriel, on estime que, d'ici 2030, le niveau global de pénétration du gaz naturel varie d'environ 107 ktep ou 118 Mmc, dans le scénario "Base", à environ 152 ktep ou 169 Mmc, dans le scénario "Forte pénétration".

Dans le secteur des **transports**, les hypothèses de pénétration du gaz, une fois disponible sur l'île, sont définies par segment. Les deux scénarios, base et haute pénétration, se distinguent par les hypothèses suivantes.

Pour le transport routier léger, qui représente environ 64% de la consommation de tous les types de transport en 2019, dans le scénario de base, le gaz pénètre (à partir de 2021, comme pour les autres secteurs) à des taux similaires aux parts de marché enregistrées au cours de la dernière décennie pour la consommation de véhicules fonctionnant au gaz naturel au niveau national. Ces derniers représentent désormais environ 3% de la consommation des véhicules légers. Dans le scénario "forte pénétration" du gaz, en revanche, on suppose des taux de pénétration plus élevés, compatibles avec la réalisation de l'objectif fixé pour 2025 par le cadre stratégique national GNC en ce qui concerne le parc de voitures fonctionnant au gaz naturel. Ce taux est fixé à 5% pour la Sardaigne en 2030.

Pour le transport terrestre lourd, le scénario de pénétration de base est conçu en supposant la réalisation, d'ici 2030, d'une couverture de 15% de la consommation dans le secteur (égale à environ 16 ktep), qui constituent 7,5% de la consommation régionale pour le transport en 2019. Cette part est égale à un peu moins de la moitié de l'*objectif* fixé pour ce segment par le Cadre stratégique national, à savoir 35%, qui est plutôt pris comme référence dans le scénario de forte pénétration du gaz qui porterait la consommation à environ 36 ktep.

Pour le transport maritime, qui représente environ 13% de la consommation des transports en 2019, le scénario de pénétration de base est conçu en supposant l'atteinte, d'ici 2030, d'une couverture de 15% de la consommation du secteur, soit un peu moins de la moitié de l'*objectif* fixé pour ce segment par le cadre stratégique national, à savoir 40%, pris comme référence dans le scénario de pénétration élevée du gaz.

Enfin, pour le transport ferroviaire, on suppose une pénétration nulle dans le scénario de base et une substitution complète du diesel dans le scénario de forte pénétration du gaz. Dans tous les cas, la consommation sur ce segment est presque négligeable: en 2015, la consommation pour le transport sur le réseau ferroviaire s'est élevée à 5 ktep.

Pour le secteur des transports, nous observons, en 2030, un niveau de pénétration du gaz naturel qui varie d'environ 61 ktep ou 68 Mmc, dans le scénario de base, à environ 161 ktep ou 178 Mmc, dans le scénario de forte pénétration. Comme on le voit, les deux scénarios diffèrent dans les hypothèses de pénétration du gaz adoptées dans les trois segments les plus pertinents, à savoir le transport routier léger, le transport routier lourd et le transport maritime.

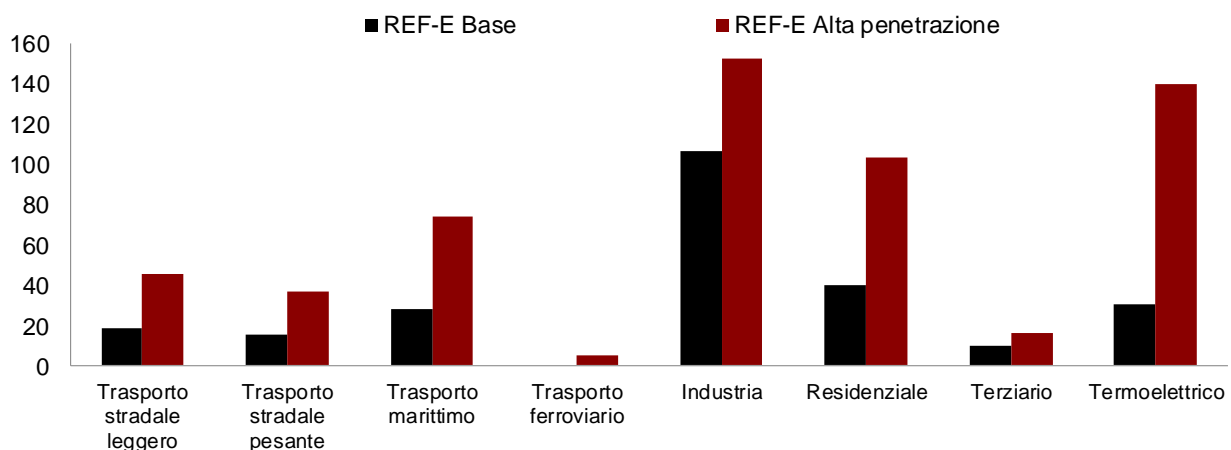
Pour le secteur **thermoélectrique**, le scénario de forte pénétration du gaz naturel est constitué de l'hypothèse de nouvelles mesures de politique environnementale qui pourraient affecter l'exploitation d'ici 2030 des centrales thermoélectriques au charbon en Sardaigne. Le champ d'action des politiques environnementales qui pourraient avoir un impact significatif sur le développement du projet de méthanisation de la Sardaigne est lié aux politiques de décarbonisation du secteur électrique italien, pour lequel le PNIEC établit un scénario cible d'*élimination progressive* en 2030 pour les centrales thermoélectriques au charbon.

En particulier, dans le cas de la Sardaigne, le scénario cible du PNIEC pour une *élimination* complète *du* charbon comprend la mise hors service des centrales électriques de Fiumesanto et Sulcis. Dans le scénario d'*élimination* totale, le PNIEC prévoit pour la Sardaigne: une ligne électrique supplémentaire (projet de *liaison thirrénienne*) pour relier l'île à l'Italie (en plus du renforcement du réseau de l'île), 400 MW de nouvelles centrales électriques au gaz naturel et des infrastructures d'approvisionnement en gaz naturel pour l'île. Dans le cas du scénario d'*élimination progressive* "complète", le besoin de deux unités

à cycle combiné d'une capacité totale de 400 MW est estimé à environ 100 millions de Sm<sup>3</sup> par an.

Dans le cas du secteur thermoélectrique, le scénario de base de pénétration du gaz naturel suppose qu'il n'y a pas de demande importante. Le scénario de forte pénétration, quant à lui, repose sur l'hypothèse que l'option d'*élimination* totale du charbon sera mise en œuvre de la manière décrite par le PNIEC. Dans ce cas, la consommation de gaz naturel par le secteur thermoélectrique s'élèverait à environ 100 millions de sm<sup>3</sup> ou environ 90 ktep. Si l'on considère également la demande de gaz naturel supposée pour la production d'électricité dans les centrales de cogénération de l'industrie, les besoins globaux du secteur thermoélectrique seraient de 130 ktep ou 144 Mmc dans le scénario "Forte pénétration" et de 30,3 ktep ou 33,6 Mmc dans le scénario "Base".

La figure suivante résume les données des deux scénarios dans les différents secteurs considérés



Fonte: elaborazione REF-E

Figure 127. Sardaigne: scénarios REF-E de pénétration du gaz naturel à l'horizon 2030 (ktep)

Globalement, le scénario de base de la pénétration du gaz naturel en 2030 montre une demande d'approvisionnement des dépôts côtiers de 197 000 t/a (environ 460 000 m<sup>3</sup>/an) de GNL, soit l'équivalent de 248 ktep). Globalement, le scénario de forte pénétration du gaz naturel en 2030 fait plutôt apparaître une demande d'approvisionnement des dépôts côtiers d'environ 455 000 t/a (environ 1 060 000 m<sup>3</sup>) de GNL, soit l'équivalent de 572 ktep).

### 3.12.4 Rôles Réseau de transport de GNL et aval

Comme nous l'avons déjà souligné, dans le scénario actuel, la méthanisation de la Sardaigne, en aval de l'approvisionnement en GNL à partir des stockages côtiers, peut avoir lieu à la fois par le canal du réseau de transport et par le canal *aval* du GNL. Le rôle possible



des deux filières dans la diffusion du gaz naturel sur l'île diffère selon les secteurs d'utilisation.

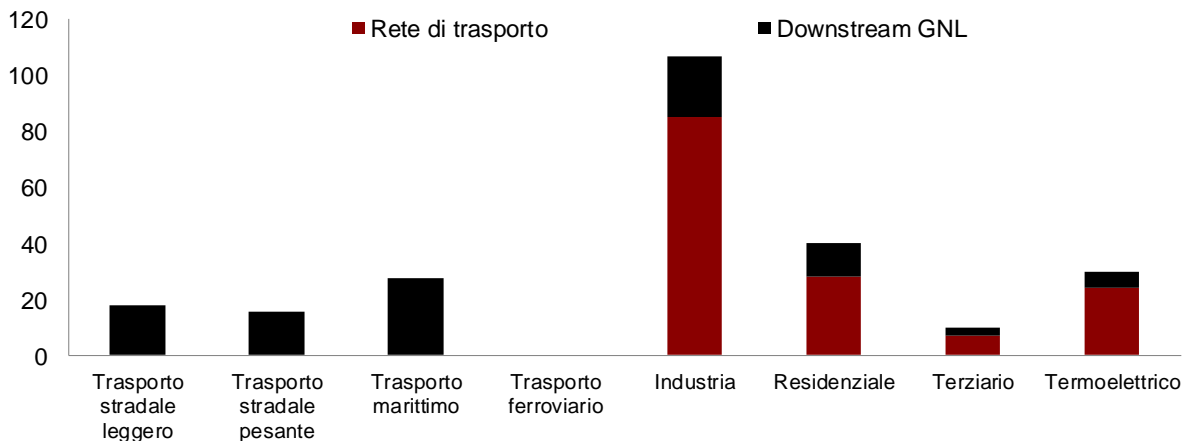
Dans les différents secteurs de la pénétration potentielle du gaz naturel dans le macro secteur des transports en Sardaigne sera exclusivement par le GNL *en aval*. C'est également le cas pour la fourniture de GNC dans le transport léger, car il faut s'attendre à ce que les distributeurs de GNL disposent également de distributeurs de GNC afin de couvrir la demande, qui se développera de manière moins importante et plus lente que la demande de GNL comme carburant pour les poids lourds. Il est donc très difficile de supposer qu'en Sardaigne ne seront construits que des distributeurs de GNC qui seront alimentés par les réseaux de distribution dorsaux ou connectés.

Dans les autres segments de transport, y compris dans le segment ferroviaire, l'utilisation du gaz naturel comme carburant se fait sous forme liquide et, par conséquent, ce type de pénétration n'implique pas l'utilisation du canal du réseau de transport mais seulement celle du canal *aval du GNL*.

Dans le cas de la pénétration du gaz naturel dans la consommation de l'industrie, on suppose que le principal canal de diffusion sera le réseau de transport et les réseaux de distribution, mais qu'une part importante se fera par l'*aval du GNL* pour les industries qui resteront *hors réseau*. Il est supposé que cette part sera de 20% dans le cas du scénario de forte pénétration et de 30% dans le cas du scénario de faible pénétration en relation avec le moindre développement des réseaux prévisible dans ce scénario.

Pour les secteurs résidentiel et tertiaire, une hypothèse similaire est formulée, qui prévoit que le principal canal de distribution sera le réseau de transport et les réseaux de distribution, mais qu'une part importante passera par l'*aval du GNL* pour les réseaux de distribution isolés qui seront alimentés par des dépôts satellites de GNL. Dans ce cas également, on suppose que la part qui passera par l'*aval du GNL* sera de 20% dans le cas du scénario de forte pénétration et de 30% dans le cas du scénario de faible pénétration en lien avec le moindre développement des réseaux prévisible dans ce scénario. Pour le secteur thermoélectrique, la consommation des cycles combinés prévisibles dans le scénario "haute pénétration" sera assurée par le raccordement au réseau de transport, tandis que la consommation des centrales de cogénération sur les sites industriels passera pour une part par le GNL *en aval* comme la consommation du secteur industriel.

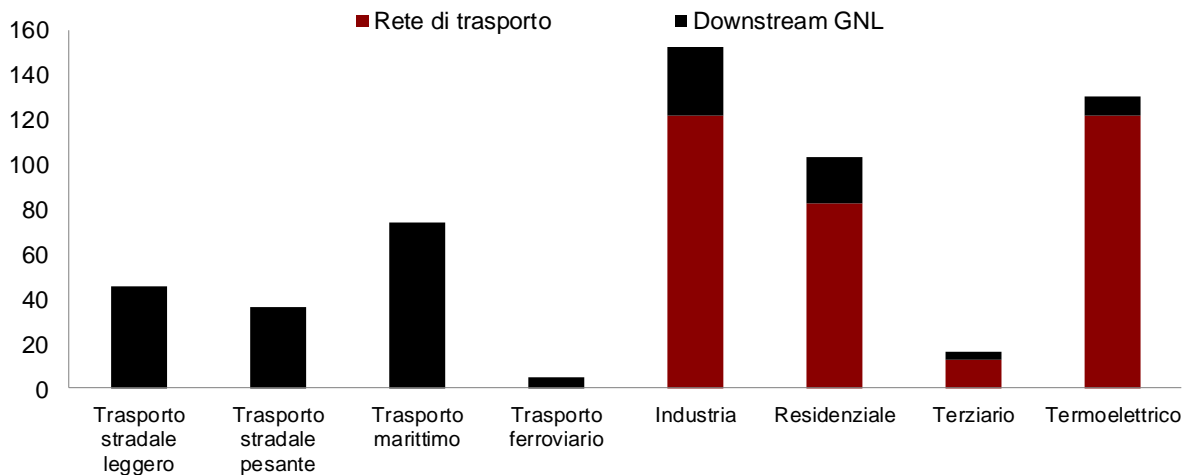
Dans le scénario de base de la pénétration du gaz naturel (Figure 138), en 2030, la demande d'approvisionnement des installations de stockage côtières sera de 197 000 t/a de GNL (248 ktep), dont environ 42%, soit environ 82 000 t/a (104 ktep), seront transportés par le réseau *aval de GNL*, et environ 58%, soit 160 MMC de gaz naturel (144 ktep), seront transportés, après regazéification, par le réseau de transport et les réseaux de distribution.



Fonte: elaborazione REF-E

Figure 128. Sardegna: réseau de GNL et *aval* dans le scénario de base de la pénétration du gaz naturel à l'horizon 2030 (ktep)

Dans le scénario de forte pénétration du gaz naturel (Figure 139), en 2030, la demande d'approvisionnement des gisements côtiers sera d'environ 454 000 t/an de GNL (572 ktep), dont environ 40%, soit 177 000 t/an (233 ktep), seront acheminés par le réseau *aval de* GNL, et environ 60%, soit 376 Mm<sup>3</sup> de gaz naturel (339 ktep), seront acheminés, après regazéification, par le réseau de transport et celui de distribution.



Fonte: elaborazione REF-E

Figure 129. Sardegna: réseau de GNL et *aval* dans le scénario de forte pénétration du gaz naturel en 2030 (ktep)

### 3.13 Consommation et potentiel de pénétration du gaz naturel dans le transport routier terrestre

#### 3.13.1 Analyse de la consommation énergétique du transport routier en Sardaigne au niveau territorial

3.13.1.1 *Analyse des ventes de carburants pétroliers pour le transport routier (essence, diesel et GPL) au niveau des huit provinces (Source: données MSE)*

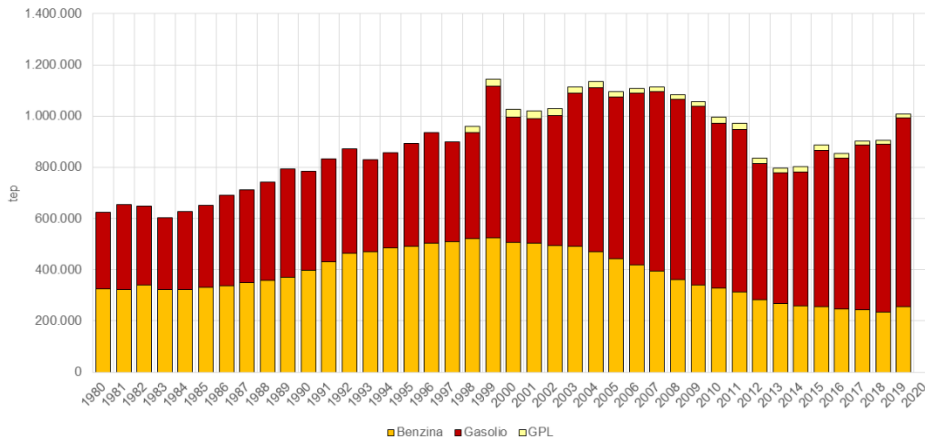
À partir des données du Bulletin pétrolier du ministère du Développement économique, il est possible de reconstituer la tendance des ventes régionales par mois, année et type de carburant. Compte tenu du caractère insulaire de la Sardaigne, il est également possible de supposer que la plupart de ces ventes sont effectivement consommées sur son territoire.

À partir de la série historique 1980-2019 (Figure 140 et Figure 141), nous pouvons voir comment la consommation a augmenté sans interruption jusqu'en 2007, puis s'est contractée pendant les années de crise économique et a redémarré à partir de 2014 jusqu'en 2019.

Au sein de cette *tendance* générale, deux *tendances* différentes peuvent être identifiées pour la consommation d'essence et de diesel:

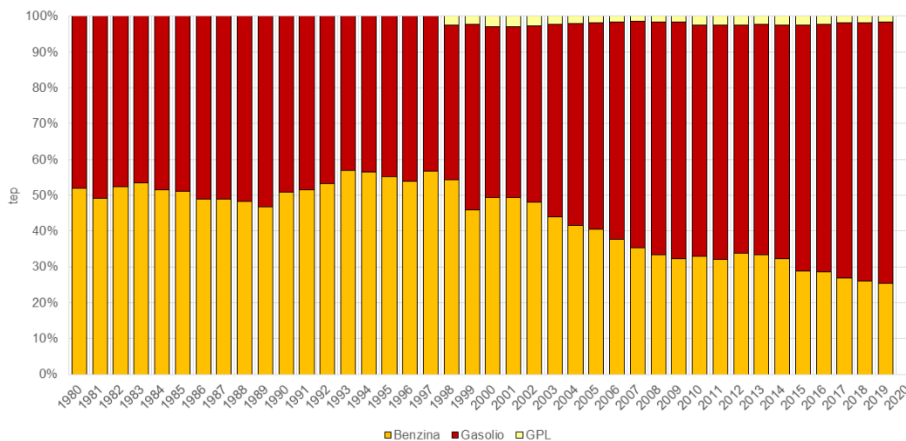
- se poursuivent sensiblement au même rythme jusqu'en 2000, avec une prévalence de l'essence. A partir de 1997, la consommation d'essence, tout en augmentant en termes absolus, a commencé à diminuer en termes relatifs.
- à partir de 2000, les valeurs absolues de la consommation d'essence ont commencé à diminuer au profit du diesel, qui est devenu régulièrement le principal carburant
- en 2019, pour la première fois depuis près de vingt ans, les ventes d'essence sont plus élevées que l'année précédente, tout en représentant environ 25% du total (contre un chiffre en 1980 où elles s'élevaient à 50%).

Enfin, en ce qui concerne les ventes de GPL, les statistiques sont disponibles depuis 1998, et montrent le rôle marginal de ce combustible, qui est sensiblement stable dans le temps.



Source: Traitement META des données MSE

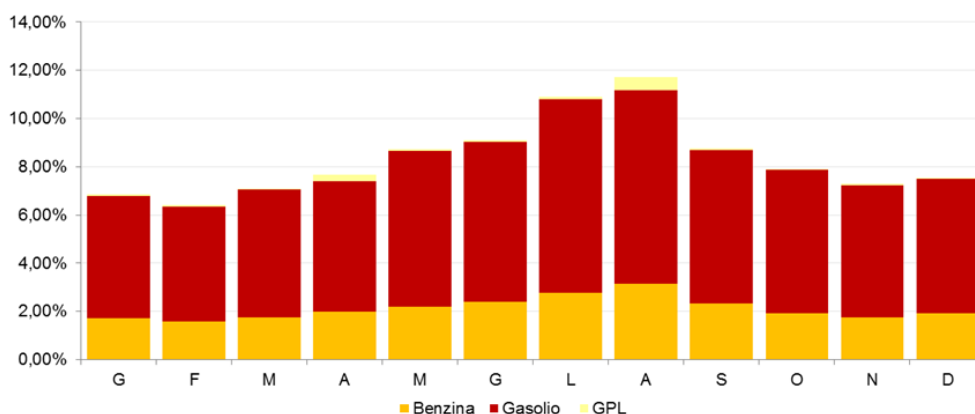
Figure 130- Sardaigne: ventes de carburants pour le transport, 1980-2019 (valeurs absolues)



Source: Traitement META des données MSE

Figure 131- Sardaigne: ventes de carburants pour le transport, 1980-2019 (valeurs relatives)

La répartition des ventes par mois en 2019 (Figure 142) met clairement en évidence l'incidence de la saison estivale. En particulier, 12% des ventes annuelles sont concentrées en août, contre environ 7% en novembre. Il convient de noter que la consommation de GPL a une saisonnalité spécifique et distincte des autres combustibles, avec une concentration particulière dans les mois d'avril (vacances de Pâques) et d'août qui, pris ensemble, représentent 55% du total annuel (17% et 38% respectivement).



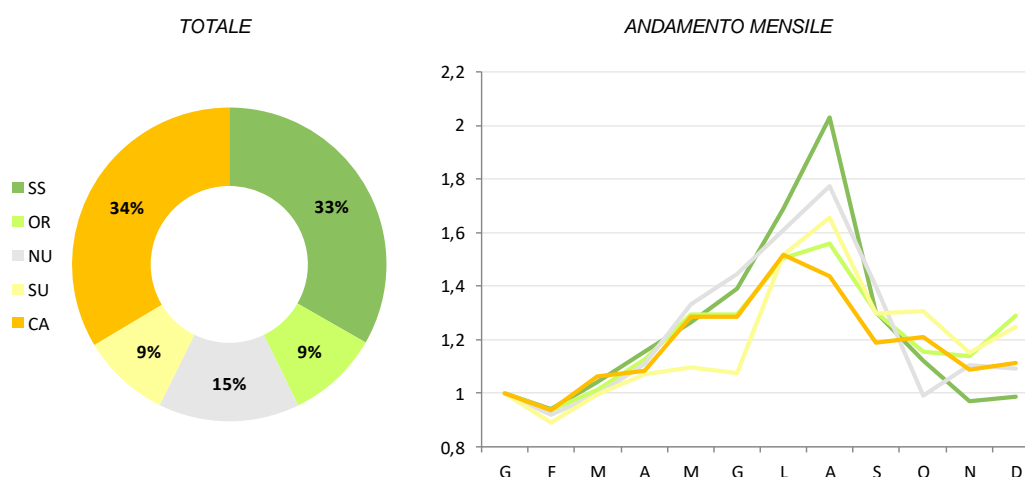
Source: Traitement META des données MSE

Figure 132- Sardaigne: répartition mensuelle des ventes de carburants, 2019

La répartition par province à partir de 2019 (Figure 143) distribue les ventes en trois blocs substantiels avec des parts similaires, correspondant à:

- la province de Sassari (33% du total)
- à la ville métropolitaine de Cagliari (34%)
- les trois provinces restantes (33% du total)

En indexant le total des ventes mensuelles sur janvier 2019, les tendances sont sensiblement homogènes. Comme mentionné ci-dessus, le pic estival est enregistré dans toutes les provinces avec des valeurs particulièrement prononcées dans la province de Sassari (en août les valeurs sont deux fois plus élevées qu'en janvier) tandis que la ville métropolitaine de Cagliari se confirme comme la plus stable avec un pic en juillet et plus d'autres valeurs sur toute la saison avril-octobre.



Source: Traitement META des données MSE

Figure 133- Sardaigne: détail provincial des ventes de carburants, 2019



Les graphiques suivants (Figure 135, Figure 136 et Figure 137) montrent l'évolution désagrégée des ventes de produits pétroliers (essence, GPL automobile, gasoil moteur réseau et hors réseau) enregistrées par les statistiques du MiSE dans les quatre provinces de Cagliari, Sassari, Nuoro et Oristano de 2000 à 2019.

Entre 2000 et 2019, en moyenne, la vente totale de produits pétroliers s'est concentrée comme suit: environ 45% dans la province de Cagliari (de 520 ktep à 424 ktep, -18%), environ 32% dans la province de Sassari (de 303 ktep à 335 ktep, +11%), environ 12% dans la province de Nuoro (de 123 ktep à 147 ktep, +19%) et les 11% restants dans la province d'Oristano (de 80 ktep à 97 ktep, +21%).

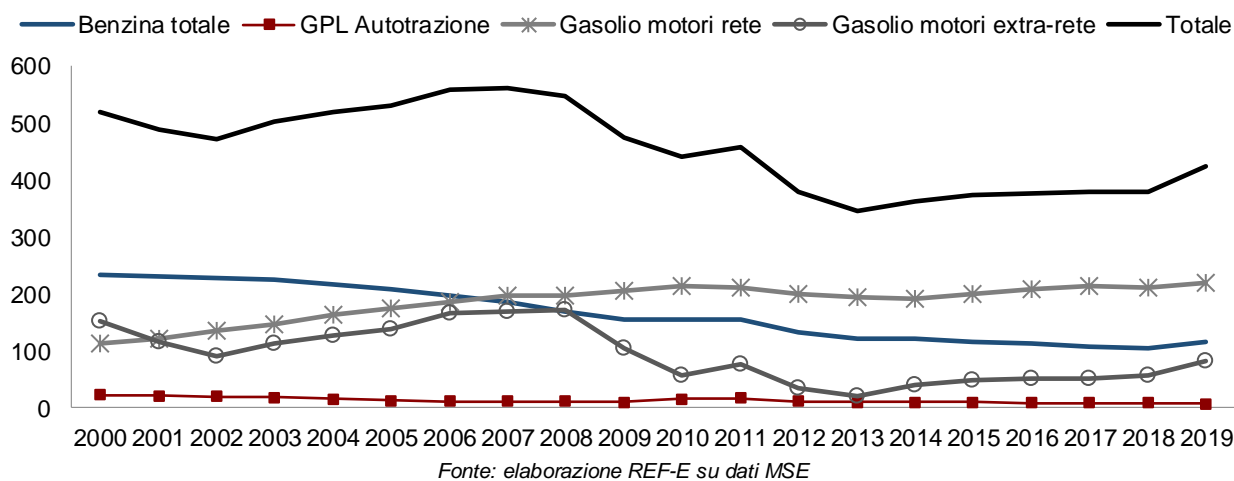


Figure 134 - Ventes de produits pétroliers dans la province de Cagliari, 2000-2019 (ktep)

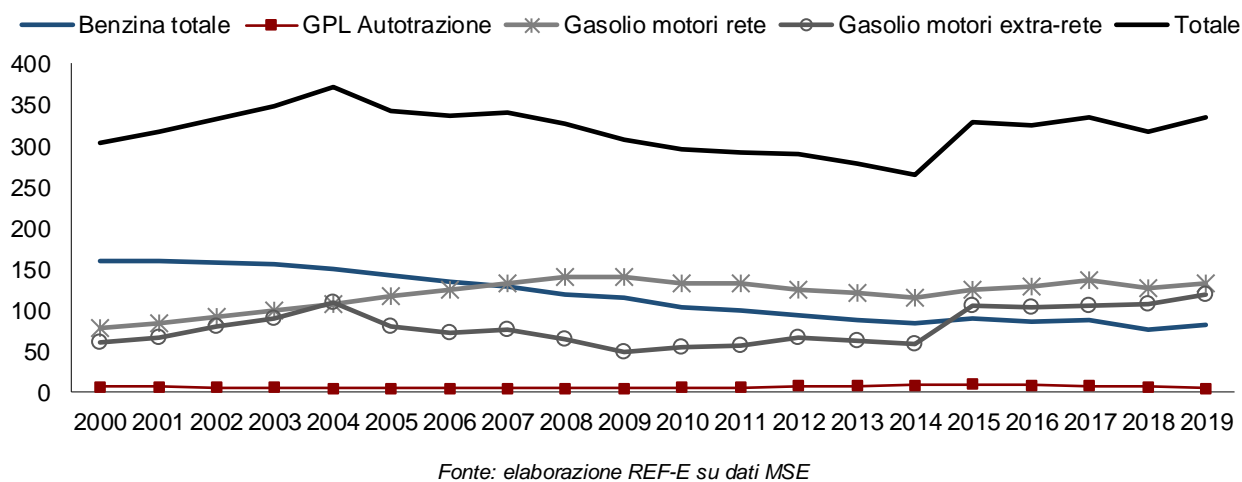
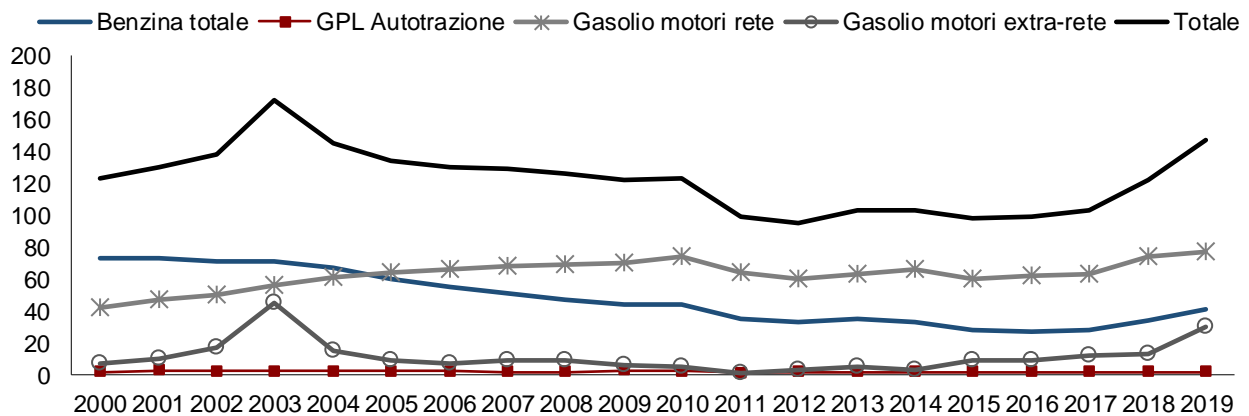
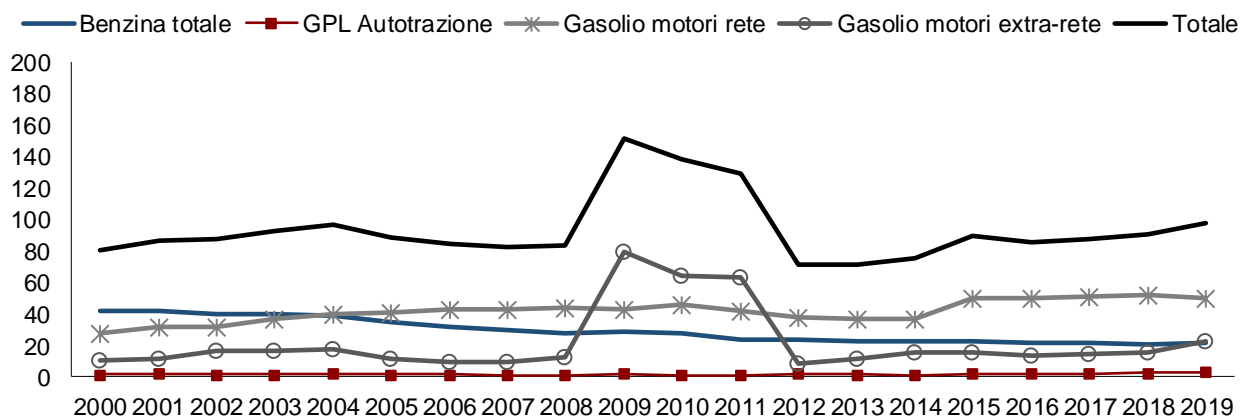


Figure 135 - Ventes de produits pétroliers dans la province de Sassari, 2000-2019 (ktep)



Fonte: elaborazione REF-E su dati MSE

Figure 136 - Ventes de produits pétroliers dans la province de Nuoro, 2000-2019 (ktep)

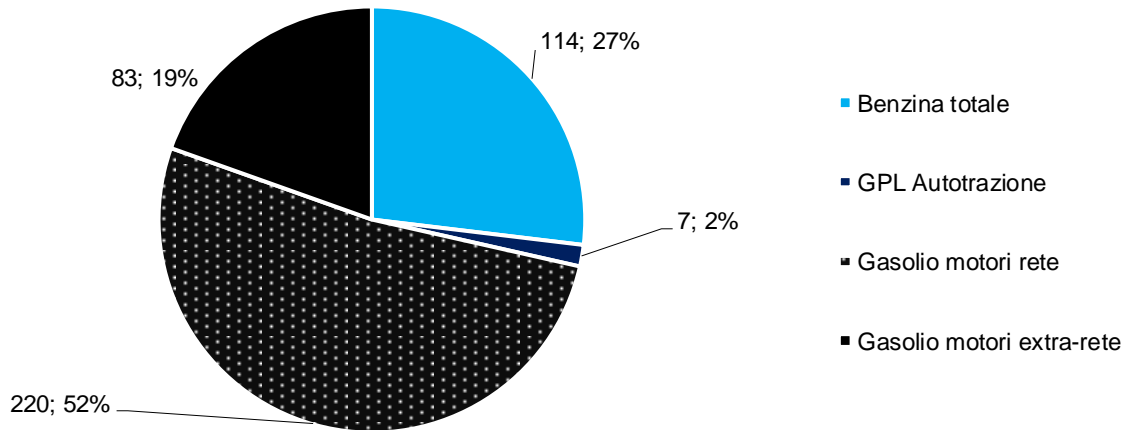


Fonte: elaborazione REF-E su dati MSE

Figure 137 - Ventes de produits pétroliers dans la province d'Oristano, 2000-2019 (ktep)

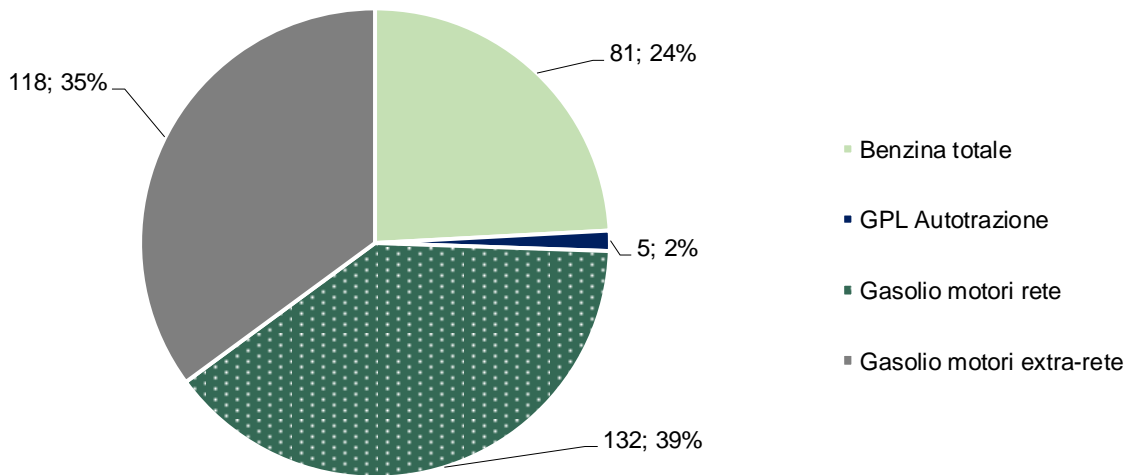
Figure 149, Figure 150 et Figure 151 montrent plutôt le *mix* désagrégé des ventes de produits pétroliers (essence, GPL automobile, gasoil moteur réseau et hors réseau) enregistré par les statistiques du MiSE dans les quatre provinces de Cagliari, Sassari, Nuoro et Oristano en 2019.

En 2019, environ 50% des ventes totales de produits pétroliers dans les provinces de Cagliari, Nuoro et Oristano ont concerné la vente de gazole moteur de réseau et environ 20% en moyenne de gazole moteur hors réseau. Ce n'est que dans la province de Sassari que la vente de gasoil moteur extra-réseau en 2019 (environ 39% du total des produits vendus) a légèrement dépassé celle du gasoil moteur réseau (environ 35%). Dans les quatre provinces, la vente d'essence en 2019 a représenté en moyenne 25% du *mélange*, tandis que la vente de GPL automobile a représenté la part minoritaire.



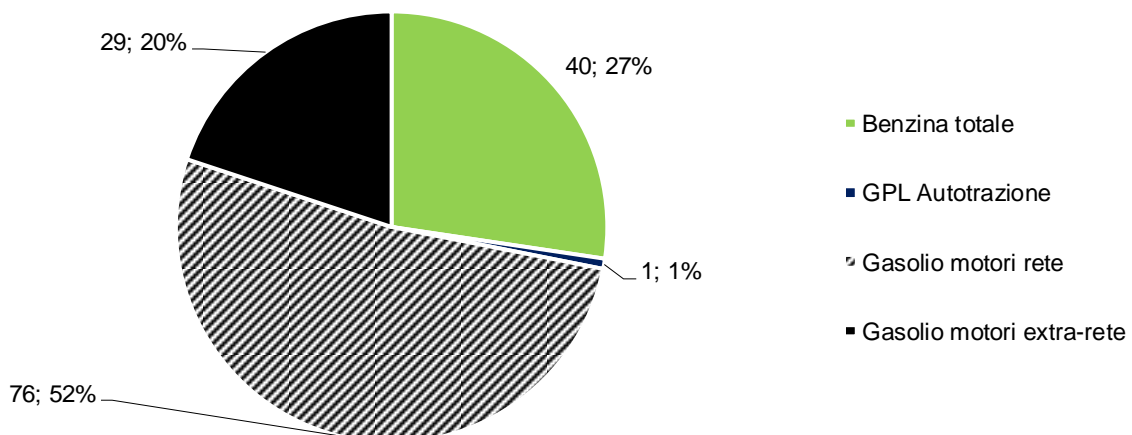
Fonte: elaborazione REF-E su dati MSE

Figure 138 - Ventes de produits pétroliers dans la province de Cagliari, 2019 (ktep et%)



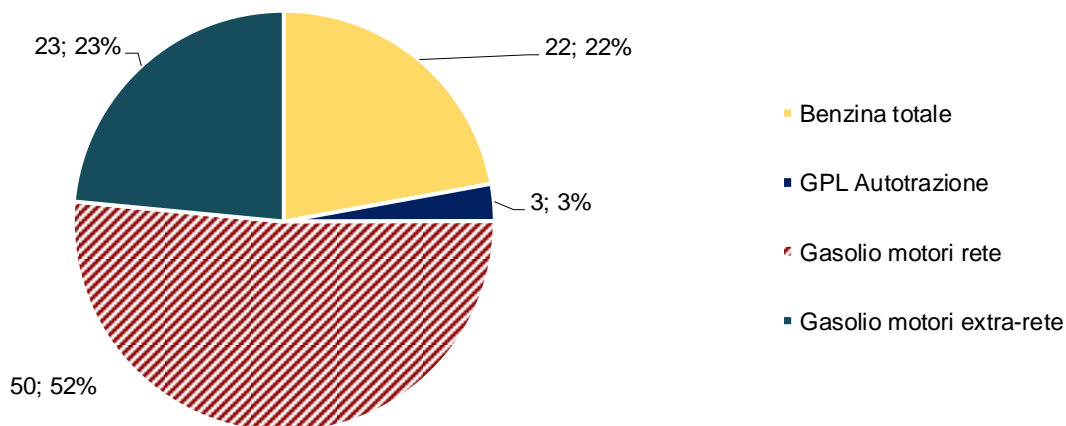
Fonte: elaborazione REF-E su dati MSE

Figure 139 - Ventes de produits pétroliers dans la province de Sassari, 2019 (ktep et%)



Fonte: elaborazione REF-E su dati MSE

Figure 140 - Ventes de produits pétroliers dans la province de Nuoro, 2019 (ktep et%)

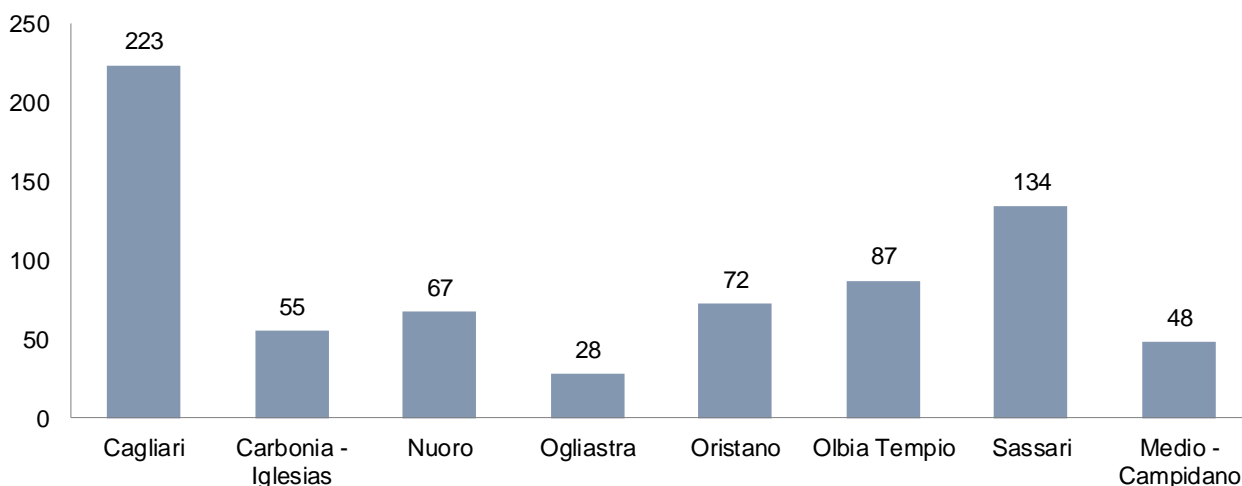


Fonte: elaborazione REF-E su dati MSE

Figure 141- Ventes de produits pétroliers dans la province d'Oristano, 2019 (ktep et%)

### 3.13.2 Analyse de la structure et de la répartition territoriale des réseaux de distribution de carburants pétroliers pour le transport routier en Sardaigne

Dans la région de Sardaigne, sur la base des données MSE disponibles en septembre 2020, un total de 714 distributeurs de carburant ont été interrogés, comme le montre la Figure 142. Dans la province de Cagliari (y compris Carbonia Iglesias et Medio - Campidano) il y a un total de 326 stations-service (46% du total), dans la province de Sassari (y compris Olbia Tempio) il y a un total de 221 stations-service (31% du total), dans la province de Nuoro (y compris Ogliastra) il y a 95 stations-service (13% du total) et dans la province d'Oristano il y a 72 stations-service (10% du total).

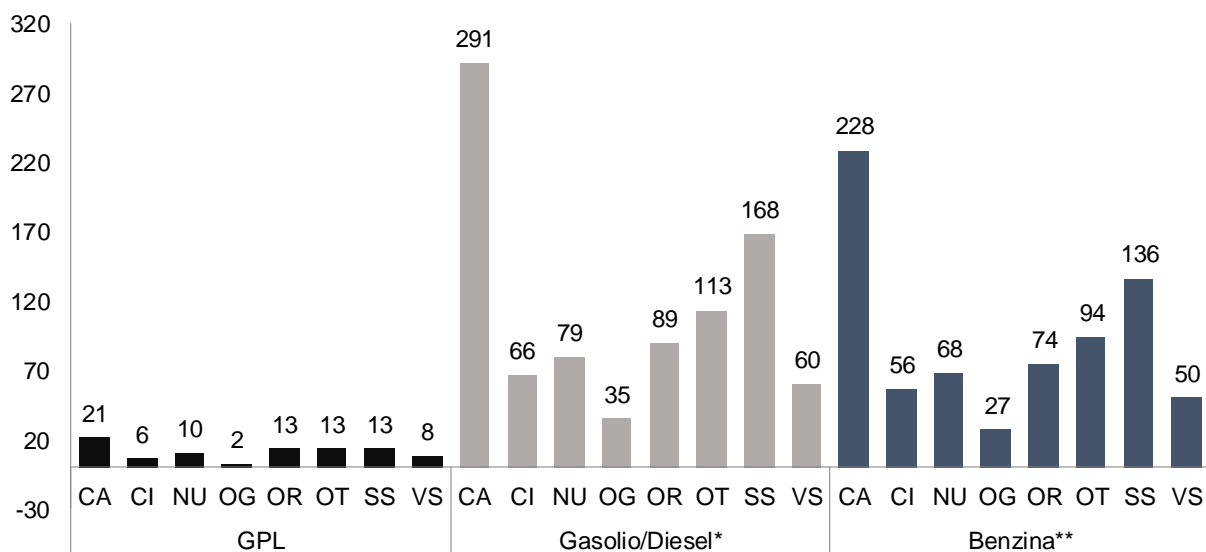


Fonte: elaborazioni REF-E su dati MSE

Figure 142 - Sardaigne: nombre total de distributeurs par province, septembre 2020 (nombre)

Sur un total de 714 stations-service, 708 distribuent à la fois de l'essence et du diesel. Parmi les types de diesel les plus vendus, outre le diesel traditionnel, on trouve le Blue Diesel (distribué par 131 opérateurs sur 714, soit environ 18%) et le High Quality Diesel (distribué par 52 opérateurs sur 714, soit environ 7%).

D'autre part, 86 des 714 stations-service (12% du total) sont également autorisées à vendre du GPL (ou seulement). Environ 40% des distributeurs de GPL sont concentrés dans la province de Cagliari (y compris Carbonia Iglesias et Medio - Campidano), 30% dans la province de Sassari (y compris Olbia Tempio) et environ 15% dans la province de Nuoro (y compris Ogliastra) et dans la province d'Oristano.



\* comprende Hi-Q Diesel, Gasolio Oro Diesel, Gasolio, HiQ Perform+, Blue Diesel, Excellium Diesel

\*\*comprende Blue Super e Benzina

Fonte: elaborazioni REF-E su dati MSE

Figure 143 - Sardaigne: stations-service par province et type de carburant, septembre 2020 (nombre)



### 3.14 Estimation des flux de trafic léger/lourd sur le réseau routier de la Sardaigne

#### 3.14.1 Généralités

Afin de disposer d'un instrument approprié pour estimer le potentiel de pénétration du méthane dans les véhicules à moteur, un raffinement du modèle de simulation national multimodal et multiscalaire ITraM (Italian Transport Model) a été effectué sur l'ensemble du territoire régional<sup>36</sup>. Compte tenu des objectifs du projet, l'opération a été limitée au seul module de transport privé.

Ce modèle, qui se réfère à une journée de travail moyenne en 2019, permet de reconstituer la structure actuelle des flux de trafic sur le réseau, avec une référence particulière à ceux relatifs aux véhicules lourds.

Le chapitre suivant illustre, dans l'ordre, la méthodologie adoptée pour le développement du modèle (§ *Aspects méthodologiques*), le zonage de référence (§ *Zonage de référence*), les éléments de base utilisés pour la reconstruction de la demande et de l'offre de transport (§ *Graphique routier*; § *Matrice O/D*), les résultats du calibrage du modèle (§ *Calibrage du modèle*) et les résultats obtenus, en termes de reconstruction des charges des véhicules sur le réseau routier examiné (§ *Simulation de l'état réel*).

#### 3.14.2 Aspects méthodologiques

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

Il repose essentiellement sur deux types d'*entrées*:

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

Le modèle combine ces données en affectant au graphique la matrice O/D, c'est-à-dire en identifiant, pour chaque déplacement de chaque zone d'origine vers chaque zone de destination, effectué pour une raison donnée, le meilleur itinéraire par rapport aux coûts

---

<sup>36</sup> Plus d'informations sur ITraM sur <https://metaplanning.it/atlante/>

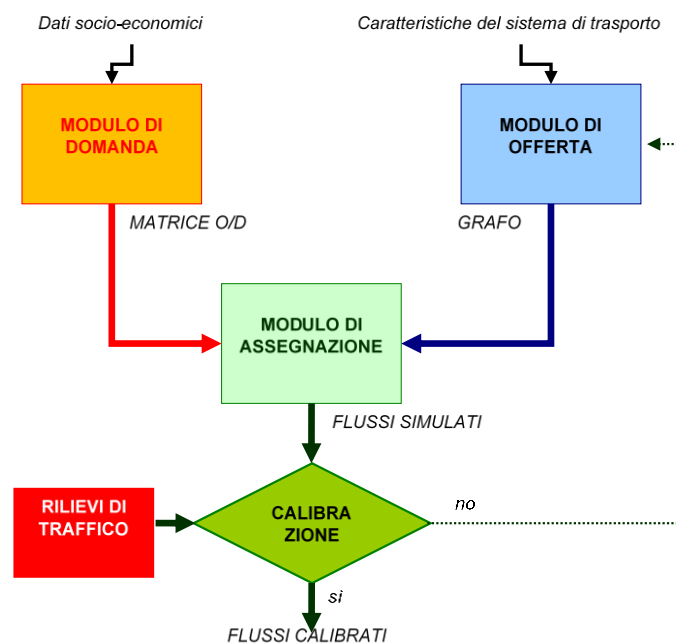
perçus par les usagers en termes de temps de parcours, de tarifs et de distances parcourues.

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

Étant donné que certains attributs des arcs - et notamment le temps de trajet - dépendent à leur tour du nombre de trajets attribués aux arcs eux-mêmes, cette procédure doit être répétée plusieurs fois afin d'obtenir un équilibre entre les coûts de transport calculés et le choix des trajets par les utilisateurs du système.

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

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



Source: *traitement META*

Figure 144- Schéma logique des simulations de trafic

Par rapport aux enquêtes réalisées sur un ensemble de lieux forcément limité, le modèle permet d'estimer les volumes de trafic et les conditions d'écoulement correspondantes sur tous les arcs du graphe. Il est ainsi possible d'évaluer un certain nombre d'indicateurs importants, tels que les distances totales parcourues par les véhicules à l'intérieur de la zone municipale, et les temps de trajet correspondants.

Enfin, en appliquant à ces indicateurs les paramètres de consommation unitaire des véhicules circulant dans la zone, il est possible d'estimer la quantité de carburant consommée par la circulation des véhicules dans la zone d'étude.

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

### 3.14.3 Zonage de référence

Dans sa configuration nationale, le modèle ITrAM est basé sur 1 784 zones, dont 87 se rapportent au territoire de la Région Sardaigne.

Pour une plus grande précision dans les élaborations, on a procédé à une agrégation des zones extérieures à la Région, et à un affinement des zones intérieures.

En particulier, sur la base des liaisons maritimes disponibles, 5 routes externes ont été identifiées (Figure 145):

- Direction nord-ouest
- Direction nord-est+Toscane
- Direction du centre
- En direction du sud
- Calabre et Sicile

À l'inverse, les zones de la Région ont été affinées, passant de 87 à 417 (Figure 55), dont:

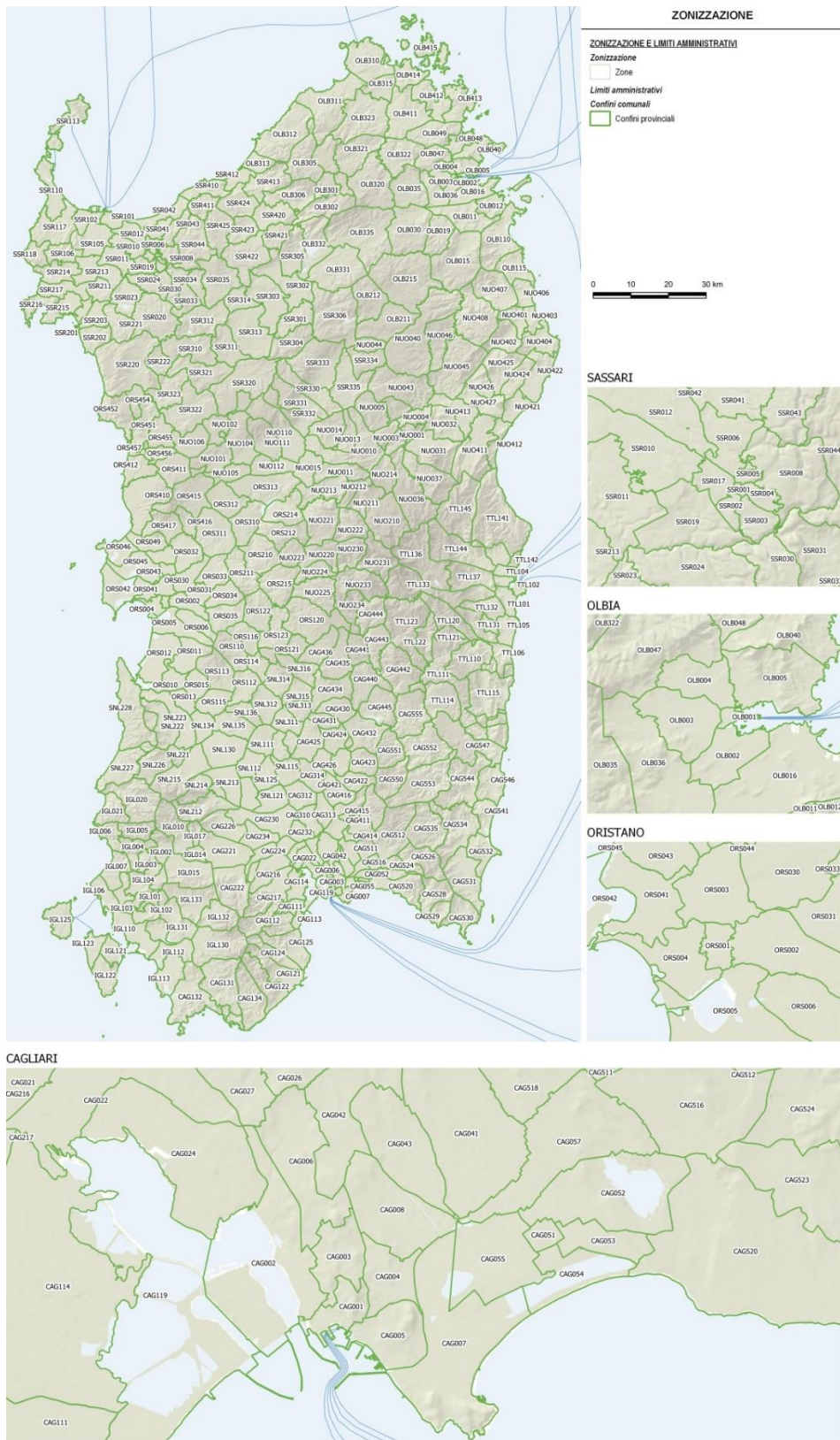
- 186 se réfèrent à des municipalités individuelles
- 172 résultent de la répartition des communes les plus peuplées et/ou multi-zonées
- 59 résultent de l'agrégation de plusieurs municipalités dans une même zone.



Source: traitement META

Figure 145- Directions externes





Source: traitement META  
 Figure 146- Zonage interne



### 3.14.4 Graphique des rues

Le modèle de trafic reproduit les caractéristiques du réseau routier par l'intermédiaire d'un objet mathématique appelé **graphe**, et composé de:

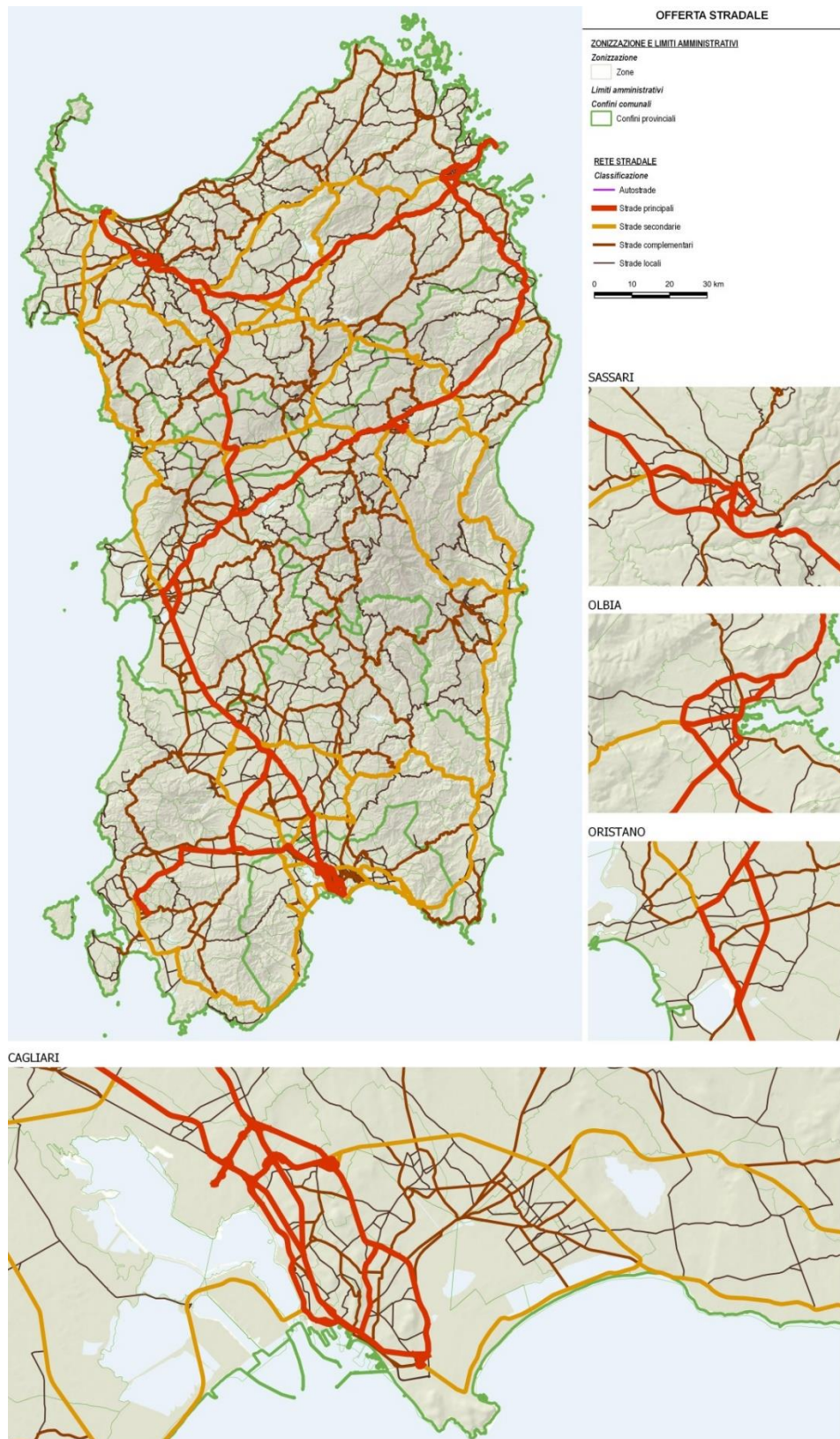
- un ensemble de **nœuds**, correspondant aux intersections
- un ensemble d'**arcs**, correspondant aux liaisons routières entre les mêmes nœuds.

Chacun de ces objets est décrit au moyen d'attributs appropriés, qui identifient les caractéristiques géométriques et fonctionnelles capables d'influencer le flux de véhicules. Par exemple, les arcs sont décrits en fonction du sens de la marche, du nombre de voies, de la pente, etc.

En combinant les attributs, il est possible de définir les grandeurs fondamentales qui régulent le flux de véhicules sur chaque portion du graphique, comme notamment la **vitesse de base** (c'est-à-dire la vitesse moyenne que peut maintenir un véhicule sur l'arc en l'absence de trafic) et la **capacité** (c'est-à-dire le nombre maximum de véhicules qui peuvent passer sur l'arc dans une période de temps donnée). Chaque arc est ensuite caractérisé par une **fonction de ruissellement**  $t = t(F)$ , qui indique le temps de parcours,  $t$ , en fonction du débit de circulation,  $F$ .

Il convient de noter que la **classification du réseau** est effectuée en fonction des caractéristiques géométriques et fonctionnelles des routes et des connecteurs le long de l'itinéraire, et qu'elle n'est pas destinée à être une classification administrative du réseau.

Plus précisément, le graphe résultant utilisé est composé de 7 166 arcs unidirectionnels et de 2 700 nœuds, pour une extension totale du réseau d'environ 7 700 km, dont 600 concernent le réseau routier principal (par exemple, la SS131 Carlo Felice), 1 100 le réseau routier secondaire, 2 100 le réseau complémentaire et enfin 3 900 le réseau local (Figure 147).



Source: traitement META

Figure 147 - Modèle de trafic national i-TraM: graphique routier Région Sardaigne

### 3.14.5 Matrice O/D

Une fois la configuration du réseau routier décrite, le modèle doit reproduire les déplacements effectués sur ce réseau par des véhicules individuels. Pour ce faire, on utilise une **matrice origine/destination (O/D)**, qui décrit la **demande de mobilité** existante dans une zone donnée, en identifiant le nombre de véhicules qui doivent s'y déplacer pendant une période donnée.

La matrice décrit chaque mouvement en identifiant la zone de trafic où il commence (origine), et la zone où il se termine (destination).

Dans le cas du modèle Sardaigne, la matrice utilisée est le résultat du raffinement de celle utilisée dans le modèle ITraM, qui a été ramenée à un zonage plus fin à l'intérieur du secteur d'analyse sur la base de coefficients de génération et d'attraction spécifiques<sup>37</sup>:

La matrice résultante se compose notamment des composantes de la demande suivantes:

- Mouvements systématiques, distingués entre les **études et le travail** et dérivés de la matrice OD 2011 de l'ISTAT.
- les déplacements occasionnels, divisés en **déplacements professionnels, personnels et de loisirs** et préalablement calculés à l'échelle nationale selon des algorithmes établis de génération, de distribution et de répartition modale
- les mouvements de véhicules **lourds** (> 3,5 tonnes), obtenus en décomposant la matrice européenne ETIS/Transtools décrivant les échanges interprovinciaux sur la base de descripteurs territoriaux appropriés représentatifs des principales catégories de marchandises.

Afin d'assurer une comparabilité mutuelle, toutes les valeurs des flux de véhicules ont été exprimées en véhicules équivalents<sup>38</sup>.

Dans l'ensemble, la matrice O/D quotidienne attribuée par le modèle de trafic comprend environ 1,6 million de mouvements de véhicules par jour, dont près de 13 000 sont effectués par des véhicules lourds et le reste par des voitures (Tableau 32).

Dans le cas des véhicules légers, la plupart des déplacements se font à l'intérieur des provinces et sont donc concentrés sur la diagonale. La matrice des véhicules lourds est plus

---

<sup>37</sup> Les coefficients de génération ont été calculés sur la base de la densité de population de chaque zone, tandis que les coefficients d'attraction ont été calculés sur la base de la répartition des employés. Ces distributions ont été calculées en utilisant les données du recensement ISTAT 2011 par zone de recensement.

<sup>38</sup> La traduction en véhicules équivalents consiste à attribuer à une catégorie de véhicules (par exemple, les véhicules lourds) un poids en véhicules légers, sur la base de l'encombrement déterminé sur la chaussée d'un seul véhicule de cette catégorie. Sur la base de la composition des flux lourds qui ressort des enquêtes de trafic, il a été décidé dans ce cas précis de considérer qu'en moyenne, un véhicule lourd équivaut à 2 véhicules légers.

distribuée: la diagonale a un poids plus faible, et les relations les plus pertinentes sont celles à l'intérieur de la ville métropolitaine de Cagliari et les mouvements entre Cagliari et Sassari.

REGIONE SARDEGNA							
MATRICE SPOSTAMENTI STRADALI							
<i>(veicoli/giorno)</i>							
LEGGERI							
	90	95	91	111	92	OTH	TOTALE
90 Prov. Sassari	440.705	1.626	8.788	203	566	242	<b>452.129</b>
95 Prov. Oristano	1.626	116.525	5.237	6.300	2.136	71	<b>131.895</b>
91 Prov. Nuoro	8.788	5.237	137.960	1.383	1.048	95	<b>154.512</b>
111 Prov. Sud Sardegna	203	6.300	1.383	227.499	38.618	146	<b>274.149</b>
92 Prov. Cagliari	566	2.136	1.048	38.618	547.457	212	<b>590.037</b>
OTH Continente	242	71	95	146	212	-	<b>765</b>
<b>TOTALE</b>	<b>452.129</b>	<b>131.895</b>	<b>154.512</b>	<b>274.149</b>	<b>590.037</b>	<b>765</b>	<b>1.603.487</b>

PESANTI							
	90	95	91	111	92	OTH	TOTALE
90 Prov. Sassari	1.505	171	77	267	247	512	<b>2.778</b>
95 Prov. Oristano	171	145	27	120	158	71	<b>693</b>
91 Prov. Nuoro	77	27	74	53	105	70	<b>407</b>
111 Prov. Sud Sardegna	267	120	53	913	1.734	338	<b>3.425</b>
92 Prov. Cagliari	247	158	105	1.734	1.856	209	<b>4.309</b>
OTH Continente	512	71	70	338	209	-	<b>1.200</b>
<b>TOTALE</b>	<b>2.778</b>	<b>693</b>	<b>407</b>	<b>3.425</b>	<b>4.309</b>	<b>1.200</b>	<b>12.811</b>

TOTALI							
	90	95	91	111	92	OTH	TOTALE
90 Prov. Sassari	442.209	1.797	8.865	470	813	753	<b>454.906</b>
95 Prov. Oristano	1.797	116.671	5.264	6.420	2.295	142	<b>132.588</b>
91 Prov. Nuoro	8.865	5.264	138.035	1.436	1.153	165	<b>154.918</b>
111 Prov. Sud Sardegna	470	6.420	1.436	228.412	40.352	484	<b>277.574</b>
92 Prov. Cagliari	813	2.295	1.153	40.352	549.313	421	<b>594.346</b>
OTH Continente	753	142	165	484	421	-	<b>1.965</b>
<b>TOTALE</b>	<b>454.906</b>	<b>132.588</b>	<b>154.918</b>	<b>277.574</b>	<b>594.346</b>	<b>1.965</b>	<b>1.616.298</b>

Source: traitement META

Tableau 32 - Matrice OD par composant de véhicule

En attribuant le nombre total de flux attirés aux différentes zones, il est possible d'obtenir une représentation cartographique des principaux systèmes territoriaux (Figure 148). En particulier, dans le cas des flux de véhicules lourds, trois concentrations apparaissent:

- au nord, le système Sassari-Alghero, y compris Porto Torres, et Olbia
- au centre, les villes d'Oristano et, dans une moindre mesure, de Tortolì
- au sud, où se concentrent les attracteurs les plus importants, le système de Cagliari, y compris la raffinerie de Sarroch. Il existe également un certain nombre d'attractions de taille moyenne au nord-ouest de Cagliari (par exemple, Sanluri, Villacidro et Iglesias).





Source: traitement META

Figure 148- Déplacements lourds attirés par zone



### 3.14.6 Calibrage du modèle

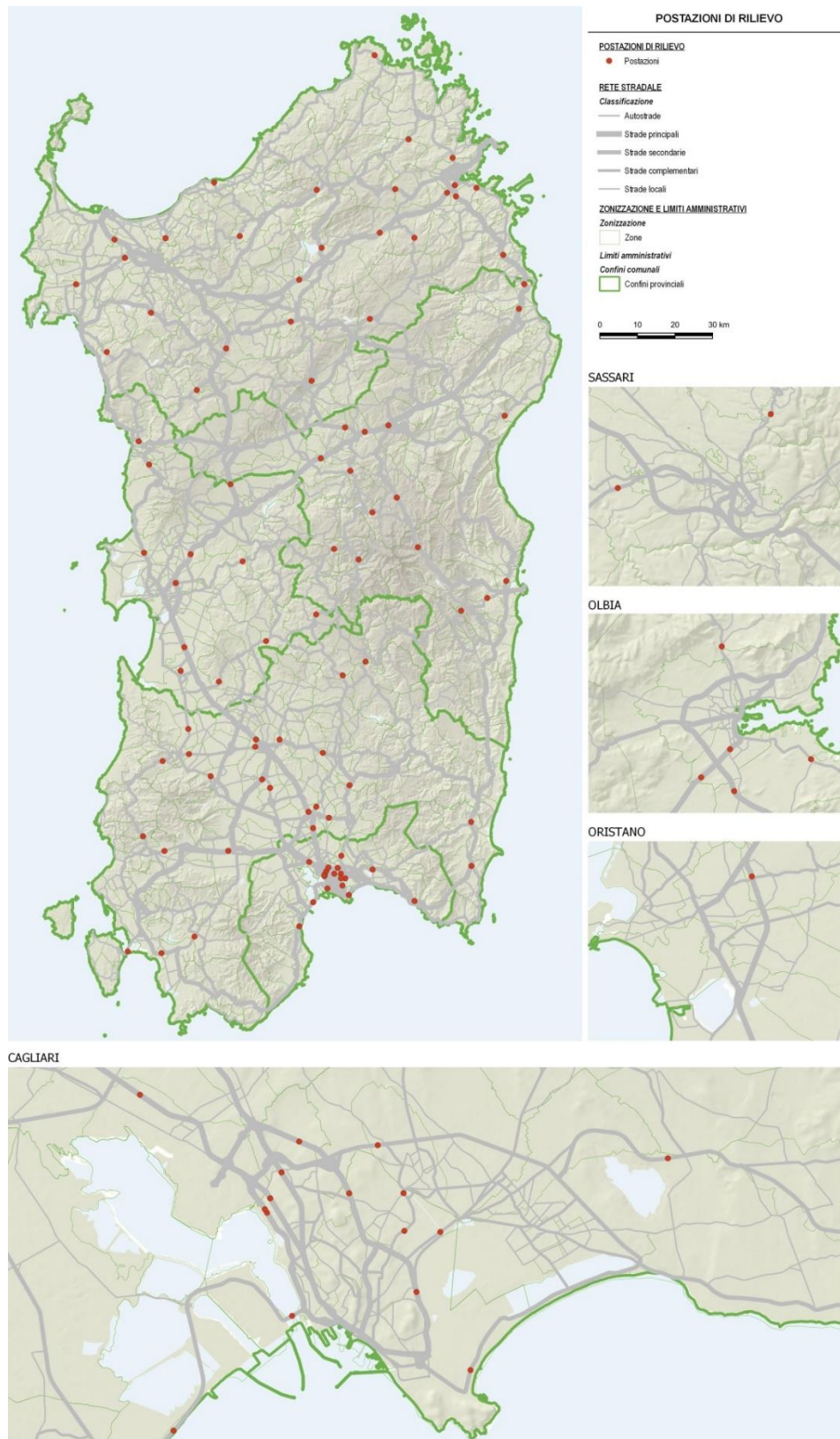
La fiabilité du modèle est corrélée à sa capacité à reproduire, avec une approximation suffisante, les flux de véhicules détectés sur le réseau routier. Par conséquent, il est nécessaire de soumettre préalablement le modèle à une phase de **calibration** précise, visant à "affiner" les attributs du graphique et de la matrice.

Dans le cas du modèle de la Région Sardaigne, la calibration a été effectuée sur la base des données de trafic mises à disposition par deux sources principales:

- Données TGM ANAS, calculées grâce au réseau de capteurs PANAMA et disponibles pour les années 2013-2019. Pour chaque station, la moyenne bidirectionnelle des véhicules légers et lourds circulant un jour moyen est rapportée. Comme les données de 2019 n'étaient pas disponibles pour tous les sites, l'année la plus récente disponible a été utilisée pour chacun d'entre eux.
- Les données de la salle de contrôle de la mobilité de la municipalité de Cagliari, qui renvoie le cordon de Cagliari sur la base de 9 stations. Pour chaque station, le nombre total de véhicules en transit par direction est indiqué, mais sans distinction entre véhicules légers et lourds.

Il faut noter que, à l'exclusion de Cagliari, les principaux centres urbains n'ont pas une couverture suffisante de stations pour vérifier avec précision la correspondance entre ce qui est simulé et la disposition réelle des flux de véhicules.

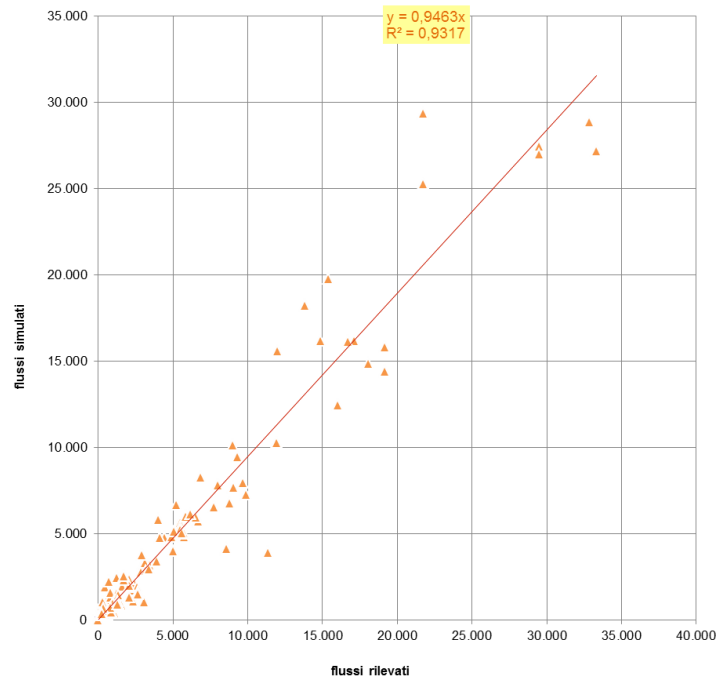
L'image suivante (Figure 149) montre l'emplacement des points d'étalonnage utilisés dans la région.



Source: traitement META

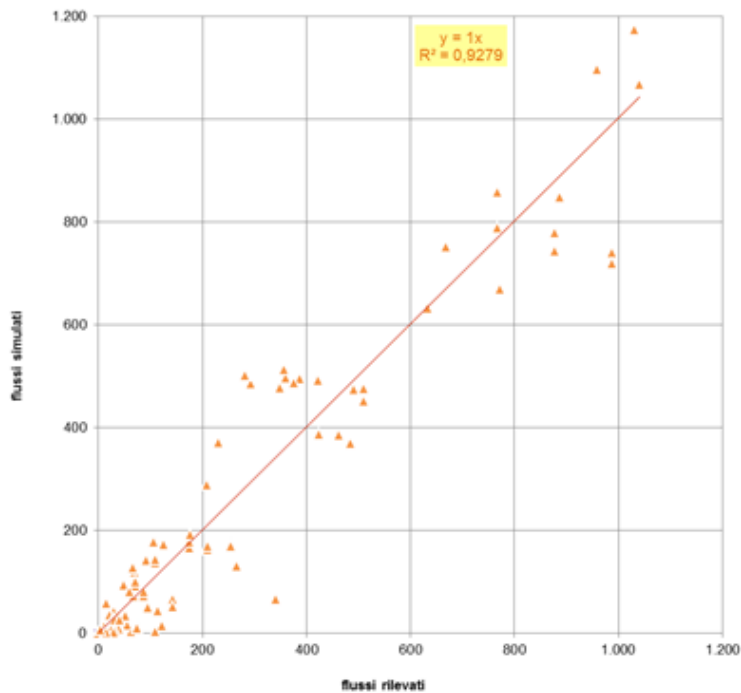
Figure 149 - Emplacement des stations d'enquête

La comparaison entre les flux mesurés et ceux simulés par le modèle de trafic montre l'obtention d'un bon niveau de corrélation, avec un paramètre  $R^2$  égal à 0,93 sur l'ensemble du réseau et une interception de 0,94 sur le nombre total de véhicules en circulation (Figure 150). En revanche, en ce qui concerne les véhicules lourds, l'intercept est égal à 1, tandis que le R2 est proche de 0,93 (Figure 151).



Source: traitement META

Figure 150 - Calibrage du modèle régional - débits totaux



Source: traitement META

Figure 151- Calibrage du modèle régional - débits élevés

### 3.14.7 Simulation de l'état des lieux

Le modèle de simulation du trafic, convenablement calibré, décrit de manière raisonnablement précise les charges de véhicules sur le réseau routier régional un jour de semaine moyen.

En ce qui concerne le réseau primaire et de distribution, qui est directement impliqué dans les comptages de trafic utilisés dans la phase de calibrage, sa fiabilité reflète les conditions décrites dans le paragraphe précédent, tandis qu'en ce qui concerne le réseau strictement local, les résultats obtenus prennent une valeur plus indicative qui pourra être mieux définie dans les phases ultérieures si des enquêtes sur le terrain sont disponibles.

En observant l'organigramme des charges de véhicules simulées sur chaque arc routier, présenté dans les images suivantes, il est possible de reconnaître certaines caractéristiques particulières du trafic affectant le réseau routier régional

En particulier, il est évident que le trafic global de véhicules (Figure 152) se développe principalement dans la **ville métropolitaine de Cagliari**, tout d'abord à l'intérieur de la zone urbaine de façon diffuse et ensuite le long des principales routes suivantes:

- En direction du nord: Oristano avec des jonctions relatives vers l'arrière-pays.

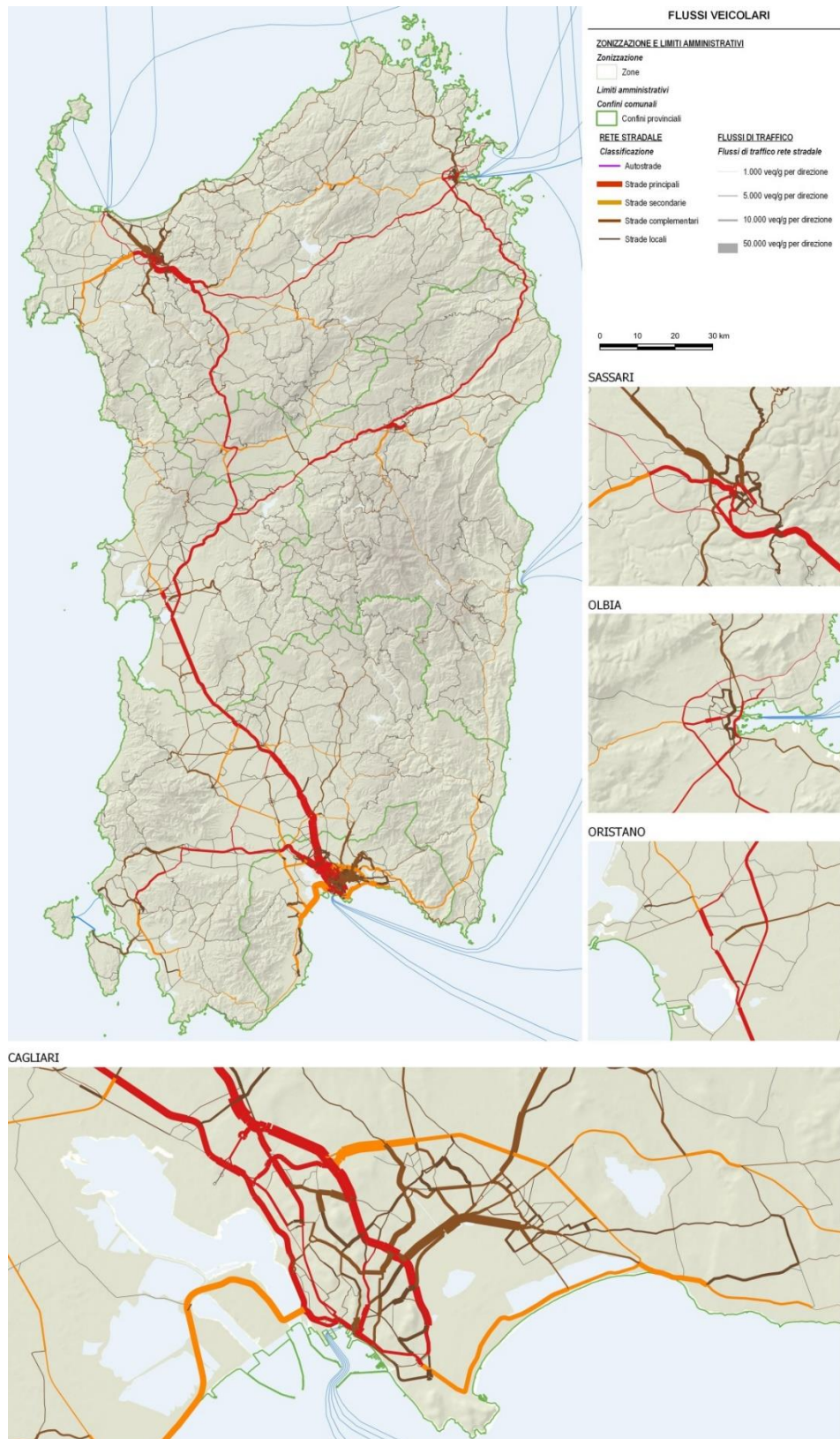
- direction ouest: Siliqua, Iglesias, Sant'Anna Arresi, Sant'Antioco
- En direction de l'est: Villasimius avec continuation le long de la côte vers Arbatax.

Dans le nord de l'île, le trafic des véhicules légers se développe principalement dans la zone urbaine de **Sassari-Porto Torres-Alghero**, dans celle d'**Olbia** et de **Nuoro** et le long des voies de liaison entre les trois pôles. Par rapport au système de Cagliari, les flux sont plus répartis sur le reste du réseau routier.

Le flux lourd (Figure 153) est concentré sur un ensemble limité d'infrastructures routières:

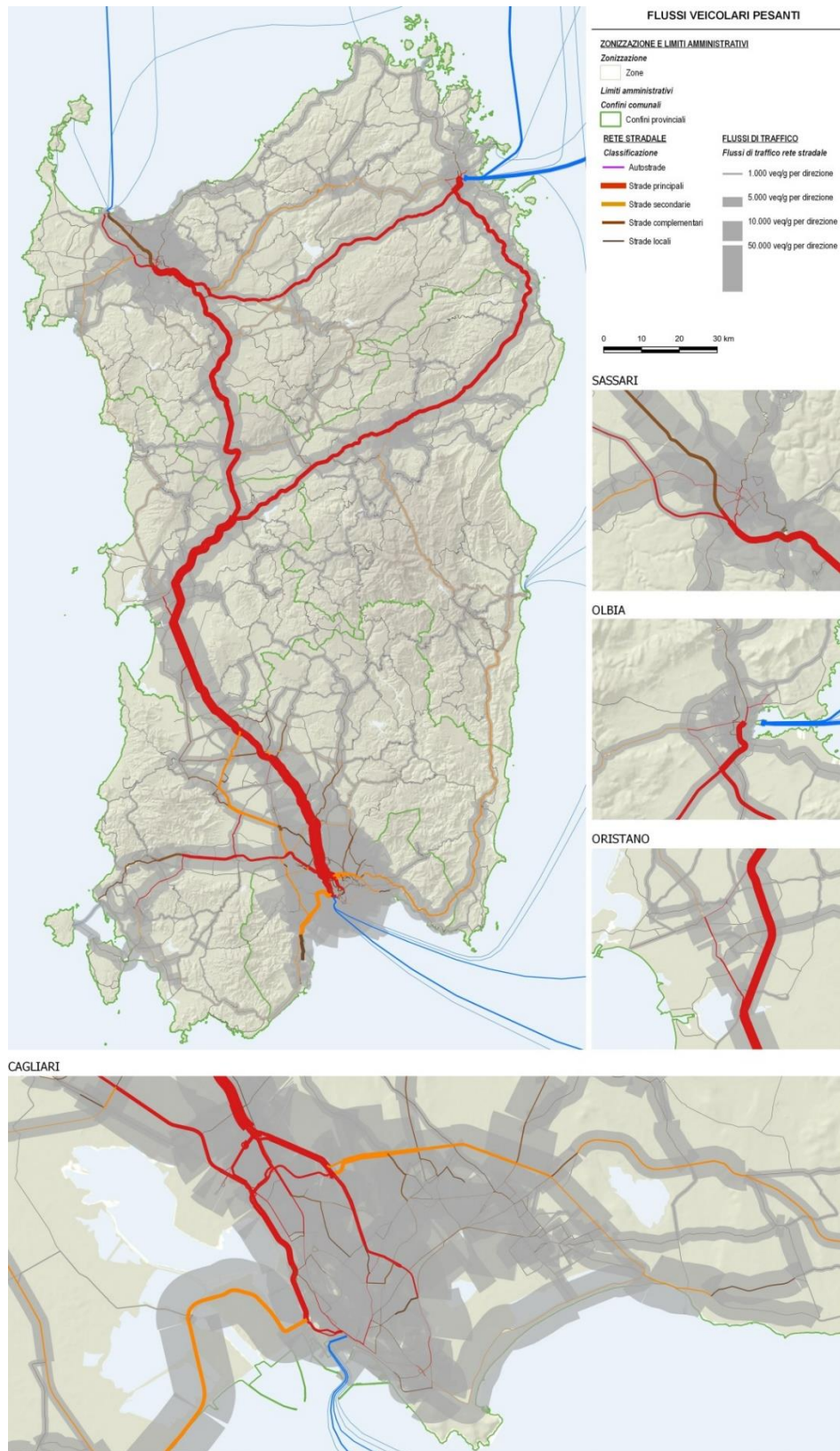
- la SS131 Carlo Felice est la route la plus chargée, en particulier dans le sud de l'île. Au nord, tout en conservant un rôle prépondérant, les flux sont en fait plus répartis
- le long de la route de contournement SS 126 Sud-Ouest de la Sardaigne
- la SS 131 DCN Diramazione Centrale Nuorese pour les liaisons Oristano-Olbia
- en direction de l'ouest, le long du premier tronçon de la route SS130 d'Iglesiente jusqu'à la route SS293, à partir de laquelle les flux se divisent et se réduisent encore;
- direction est vers Villasimius avec continuation le long de la côte en réduction constante jusqu'à Arbatax.





Source: traitement META

Figure 152 - Flux total de véhicules - état de l'art



Source: traitement META

Figure 153 - Flux de véhicules lourds - état de l'art

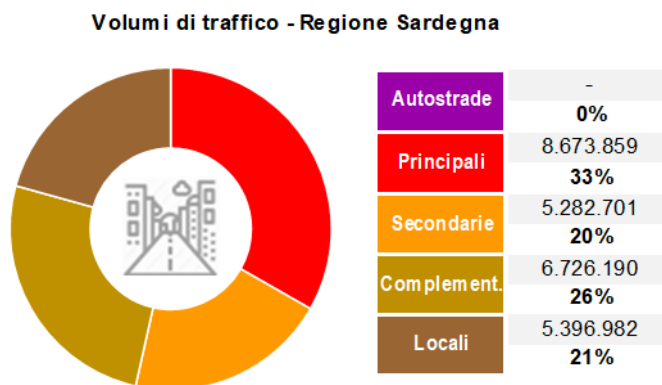
L'utilisation d'un modèle de simulation présente également l'avantage, non secondaire, de permettre l'extraction de statistiques agrégées, qui décrivent de manière synthétique la "quantité de trafic" présente et/ou attendue sur le territoire régional.

Ces statistiques sont exprimées selon deux grandeurs types, définies comme suit:

- le **volume total de trafic**, correspondant à la somme des distances parcourues par tous les véhicules à l'intérieur de la zone d'étude pendant une période donnée, exprimé en véhicules x kilomètres quotidiens (*vkm/jour*)
- le **temps de parcours total**, correspondant à la somme des temps mis par chaque véhicule pour parcourir les arcs de la route, exprimé en véhicules x heure, toujours par jour (*vh/jour*).

Le rapport entre ces deux indicateurs donne la vitesse moyenne de ruissellement sur le graphique, exprimée en *vkm*:  $vh = km/h$ .

Au niveau global, sur une journée "moyenne" (travail, hiver et école), 26 millions de véhicules équivalents\*km/jour ont été simulés sur le réseau routier régional (Figure 154 et Tableau 33). Ces flux sont concentrés de manière similaire entre le réseau principal (33%) et le réseau complémentaire (26%). Les parts du réseau secondaire (20%) et du réseau local (21%) sont également similaires. Le nombre total de kilomètres parcourus s'élève à près de 440 mille véhicules\*heure/jour, pour une vitesse moyenne de près de 60 km/h, avec des valeurs plus élevées sur le réseau principal (plus de 80 km/h), et des valeurs plus faibles sur le réseau local (40 km/h).



Source: traitement META

Figure 154 - Résumé du kilométrage global



VOLUMI E PERCORRENZE - Regione Sardegna				
CLASSE	Estesa	Volumi	Tempi	Velocità
	km	veq*km/giorno	veic*h/giorno	km/h
Principali	596	8.673.859	93.473	86,3
Secondarie	1.122	5.282.701	83.658	61,3
Complement.	2.052	6.726.190	131.893	50,3
Locali	3.937	5.396.982	128.789	41,4
Navigazione	1.259	593.774	20.008	29,7
<b>TOTALE</b>	<b>8.965,5</b>	<b>26.079.731</b>	<b>437.813</b>	<b>59,6</b>

Source: traitement META

Tableau 33- Volumes et kilométrages

Il est également possible de ventiler ces statistiques par macro-catégorie de véhicules (légers/lourds), territoire traversé (provinces) et type de contexte (urbain/extra-urbain).

En ce qui concerne les véhicules légers, les 24 millions de véhicules\*km/jour sont répartis dans des proportions similaires dans la province de Sassari (30%), dans la ville métropolitaine de Cagliari (24%) et dans la province de Sardaigne Sud (22%), tandis que les provinces de Nuoro (12%) et d'Oristano (10%) sont de moindre importance. Dans la ville métropolitaine, presque la moitié des déplacements se font dans des zones urbaines (48%), un pourcentage qui tombe à moins d'un quart à Sassari (23%) et à des valeurs encore plus basses à Oristano (17%), au Sud de la Sardaigne (15%) et à Nuoro (12%).

En ce qui concerne la répartition du kilométrage des poids lourds, la principale province de référence reste Sassari (28%), suivie par la Sardaigne du Sud (25%), Oristano (19%), Nuoro (16%) et Cagliari (12%). L'incidence des déplacements urbains est beaucoup plus faible que dans le cas précédent, avec une valeur maximale de 29% à Cagliari et les autres cas inférieurs ou égaux à 10%.

Cette diversité entre véhicules légers et lourds confirme la différence de géographie des déplacements pour les deux catégories de véhicules, où les flux légers ont tendance à se concentrer sur les pôles urbains, tandis que les flux lourds ont tendance à traverser toute l'île, en reliant notamment Cagliari-Oristano-Sassari/Olbia.

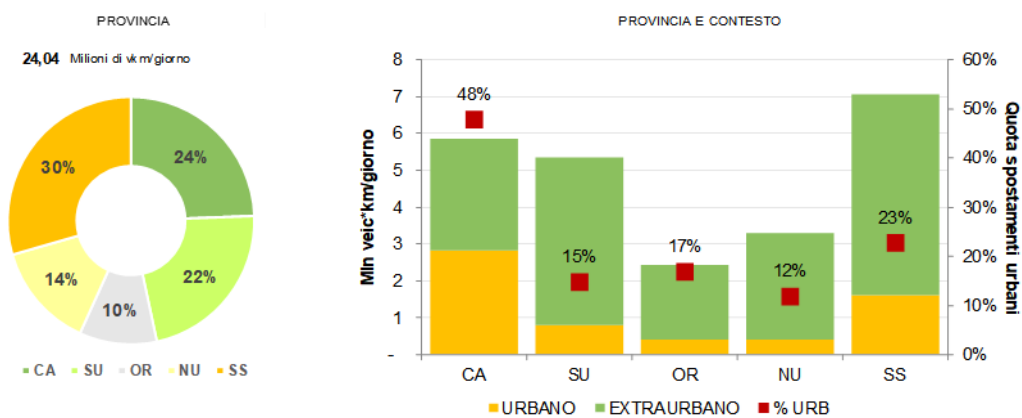
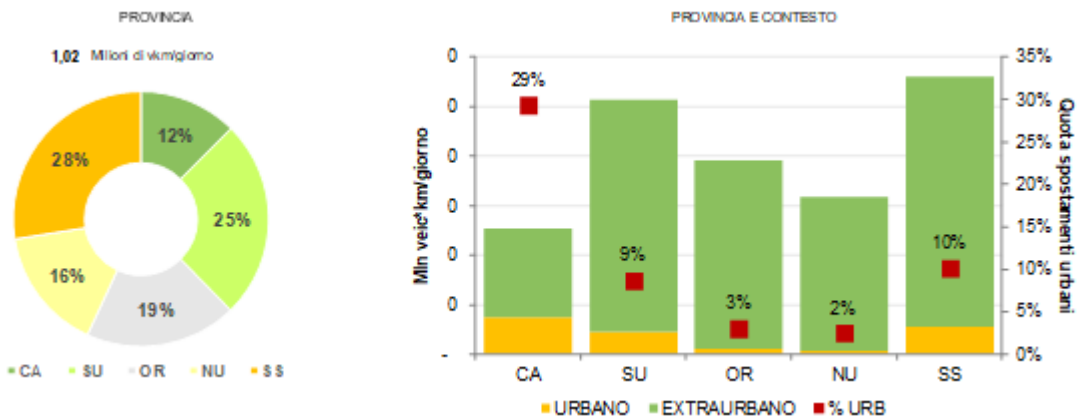


Figure 155- Distribution de la distance parcourue par les véhicules légers



Source: traitement META

Figure 156- Répartition du kilométrage des véhicules lourds

Pour obtenir une image globale des volumes et des temps de parcours, les statistiques déduites du réseau assigné sont finalement intégrées de manière paramétrique avec celles relatives aux mouvements intra-zonaux et aux entrées/sorties du réseau. Dans les deux cas, les longueurs moyennes et les temps de parcours propres à chaque zone sont appliqués à la matrice.

Pour les **déplacements intra-zonaux**, la longueur moyenne est calculée comme la distance moyenne à vol d'oiseau entre les différentes sections de recensement de la zone. Les distances sont ensuite pondérées sur la base de la population vivant dans la zone (données 2011). En ce qui concerne les temps, ils sont calculés sur la base de la vitesse moyenne du réseau à l'intérieur de la zone, en excluant les infrastructures les plus performantes, caractérisées par une vocation plus interzonale. Le résultat est de près de 350 000 veq\*km/jour et 8 000 véhicules\*h/jour, pour une vitesse moyenne de près de 43 km/h

En ce qui concerne les **coûts d'entrée/sortie**, les longueurs sont calculées sur la base de la distance moyenne des sections de recensement par rapport au connecteur de zone, tandis que les temps sont calculés comme dans le cas précédent. Cela représente près de 2,7 millions de véh\*km/jour et 0,5 million de véh\*h/jour, pour une vitesse moyenne d'environ 35 km/h (Tableau 34).

VOLUMI E PERCORRENZE - Regione Sardegna			
CLASSE	Volumi	Tempi	Velocità
	veq*km/giorno	veic*h/giorno	km/h
Rete simulata	26.079.731	437.813	59,6
Intrazonali	345.825	8.073	42,7
Ingresso/Egresso	2.691.546	75.491	35,3
<b>TOTALE</b>	<b>29.117.103</b>	<b>521.377</b>	<b>53,9</b>

Source: traitement META

Tableau 34 - Résumé des volumes et du kilométrage de la situation réelle



### 3.15 Estimation *bottom-up* de la consommation de diesel sur le réseau de Sardaigne

#### 3.15.1 Analyse des données relatives à la flotte de véhicules en Sardaigne

Sur la base des statistiques de l'ACI relatives à la composition du parc automobile par province (Autoritratto), il est possible de définir les principales caractéristiques des véhicules actuellement immatriculés en Sardaigne. L'enquête couvre des aspects tels que la capacité du moteur, l'année d'immatriculation, le type de carburant et la classe d'homologation. Pour les véhicules commerciaux, des informations sur la capacité de charge sont également disponibles.

Des statistiques distinctes pour les voitures particulières et les véhicules commerciaux (camionnettes et poids lourds) pour l'année 2019 sont présentées ci-dessous.

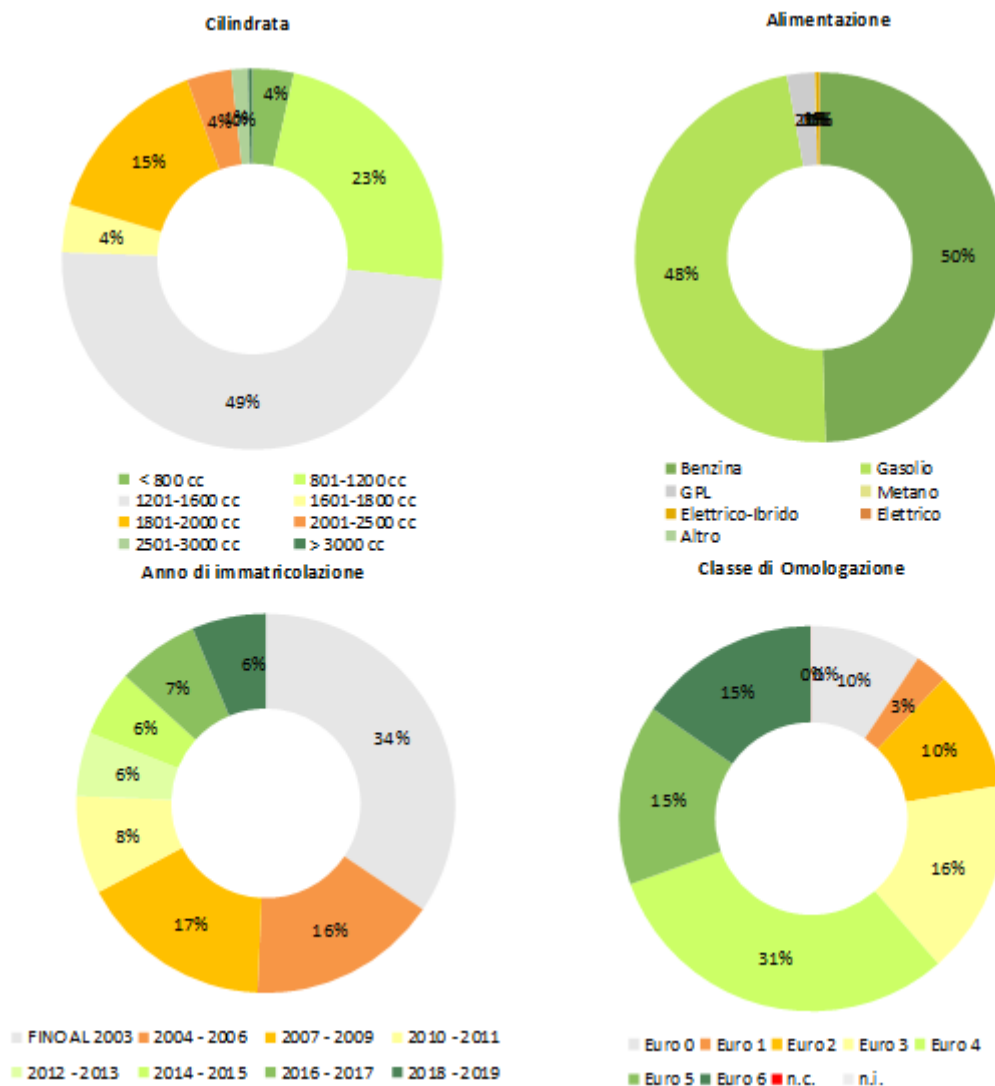


Figure 157- Parc automobile régional, 2019, Source: META processing

En ce qui concerne le **parc automobile** (Figure 157 et Tableau 35), les statistiques de l'ACI font état de la présence de 1,07 million de véhicules. Près de la moitié des cylindrées se situent entre 1 200 et 1 600 cm<sup>3</sup>, tandis que l'autre moitié est également répartie entre les cylindrées supérieures et inférieures. En ce qui concerne les carburants, la répartition essence/diesel est uniforme, avec des quotas résiduels pour les autres carburants, notamment le GPL (environ 2%). L'année médiane d'immatriculation est 2007 et, globalement, 60% du parc automobile a une classe d'homologation Euro 4 ou supérieure.

Regione Sardegna											
AUTOVEICOLI CIRCOLANTI PER ALIMENTAZIONE, CILINDRATA E CLASSE DI OMOLOGAZIONE (2019)											
CLASSE DI OMOLOGAZIONE UE											
		Euro 0	Euro 1	Euro 2	Euro 3	Euro 4	Euro 5	Euro 6	n.r.	n.i.	TOTALE
<b>Alimentazione</b>	<b>Cilindrata (cc)</b>										
	Fino a 1400	69.123	16.480	67.398	74.013	126.443	50.211	68.222		571	<b>472.461</b>
BENZINA	1401 - 2000	11.638	5.546	11.374	7.758	11.225	2.793	2.932		65	<b>53.329</b>
	Oltre 2000	1.048	306	589	570	1.126	228	251		9	<b>4.125</b>
	non identificato	18	1	0	0	0	0	0		3	<b>22</b>
<b>Tot.BENZINA</b>		<b>81.827</b>	<b>22.333</b>	<b>79.361</b>	<b>82.339</b>	<b>138.794</b>	<b>53.230</b>	<b>71.405</b>		<b>648</b>	<b>529.937</b>
	Fino a 1400	2.217	228	99	15.670	71.446	26.267	8.087		0	<b>124.014</b>
GASOLIO	1401 - 2000	7.160	2.889	17.323	62.168	95.582	72.595	74.220		5	<b>331.942</b>
	Oltre 2000	5.434	2.799	9.489	13.087	12.237	6.623	4.595		6	<b>54.270</b>
	non identificato	3	0	0	0	0	0	0		0	<b>3</b>
<b>Tot.GASOLIO</b>		<b>14.614</b>	<b>5.916</b>	<b>26.911</b>	<b>90.925</b>	<b>179.265</b>	<b>105.485</b>	<b>86.902</b>		<b>11</b>	<b>510.229</b>
	Fino a 1400	1.326	259	868	725	10.601	2.611	1.577		3	<b>17.970</b>
BENZINA E GAS LIQUIDO	1401 - 2000	1.831	831	1.306	733	1.768	536	251		3	<b>7.259</b>
	Oltre 2000	118	51	110	104	204	11	1		0	<b>599</b>
	non identificato	1	0	0	0	0	0	0		0	<b>1</b>
<b>Tot.BENZINA O GAS LIQUIDO</b>		<b>3.276</b>	<b>1.141</b>	<b>2.284</b>	<b>1.562</b>	<b>12.573</b>	<b>3.158</b>	<b>1.829</b>		<b>6</b>	<b>25.829</b>
	Fino a 1400	53	10	38	17	130	121	42		0	<b>411</b>
BENZINA E METANO	1401 - 2000	30	14	29	22	45	7	6		0	<b>153</b>
	Oltre 2000	1	2	1	0	2	0	0		0	<b>6</b>
	non identificato	0	0	0	0	0	0	0		0	<b>0</b>
<b>Tot.BENZINA O METANO</b>		<b>84</b>	<b>26</b>	<b>68</b>	<b>39</b>	<b>177</b>	<b>128</b>	<b>48</b>		<b>0</b>	<b>570</b>
	Fino a 1400	0	0	0	0	6	55	210		0	<b>271</b>
ELETTRICO- IBRIDO	1401 - 2000	0	0	0	0	45	394	2.680		0	<b>3.119</b>
	Oltre 2000	0	0	0	0	14	20	400		0	<b>434</b>
	elettrico 100%	0	0	0	0	0	0	0	253	0	<b>253</b>
<b>Tot.ELETTRICO-IBRIDO</b>		<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>65</b>	<b>469</b>	<b>3.290</b>	<b>253</b>	<b>0</b>	<b>4.077</b>
ALTRE	=	28	0	0	0	0	0	0		4	<b>32</b>
<b>Tot.ALTRE</b>		<b>28</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>		<b>4</b>	<b>32</b>
<b>TOTALE COMPLESSIVO</b>		<b>100.029</b>	<b>29.416</b>	<b>108.624</b>	<b>174.865</b>	<b>330.874</b>	<b>162.470</b>	<b>163.474</b>	<b>253</b>	<b>669</b>	<b>1.070.674</b>

Tableau 35 - Parc automobile régional, 2019, *Source: traitement META des données ACI*

Quant au **parc de véhicules commerciaux** (Figure 158 et Tableau 36), il comprend environ 160 000 véhicules, dont plus de 85% ont une capacité de charge inférieure à 3,5 t (véhicules commerciaux légers) et les 15% restants ont une capacité de charge supérieure à 3,5 t (véhicules commerciaux lourds). 95% des véhicules sont à moteur diesel, tandis que les véhicules à essence représentent une part résiduelle et sont concentrés dans les petites capacités. Plus de la moitié des véhicules ont été immatriculés avant 2003 et la classe d'homologation médiane est Euro III.

Il convient de noter qu'il existe de grandes différences entre la répartition des véhicules utilitaires légers par classe de réception et celle des véhicules utilitaires lourds, pour lesquels la classe de réception médiane est Euro I, et près de la moitié des véhicules immatriculés sont Euro 0.

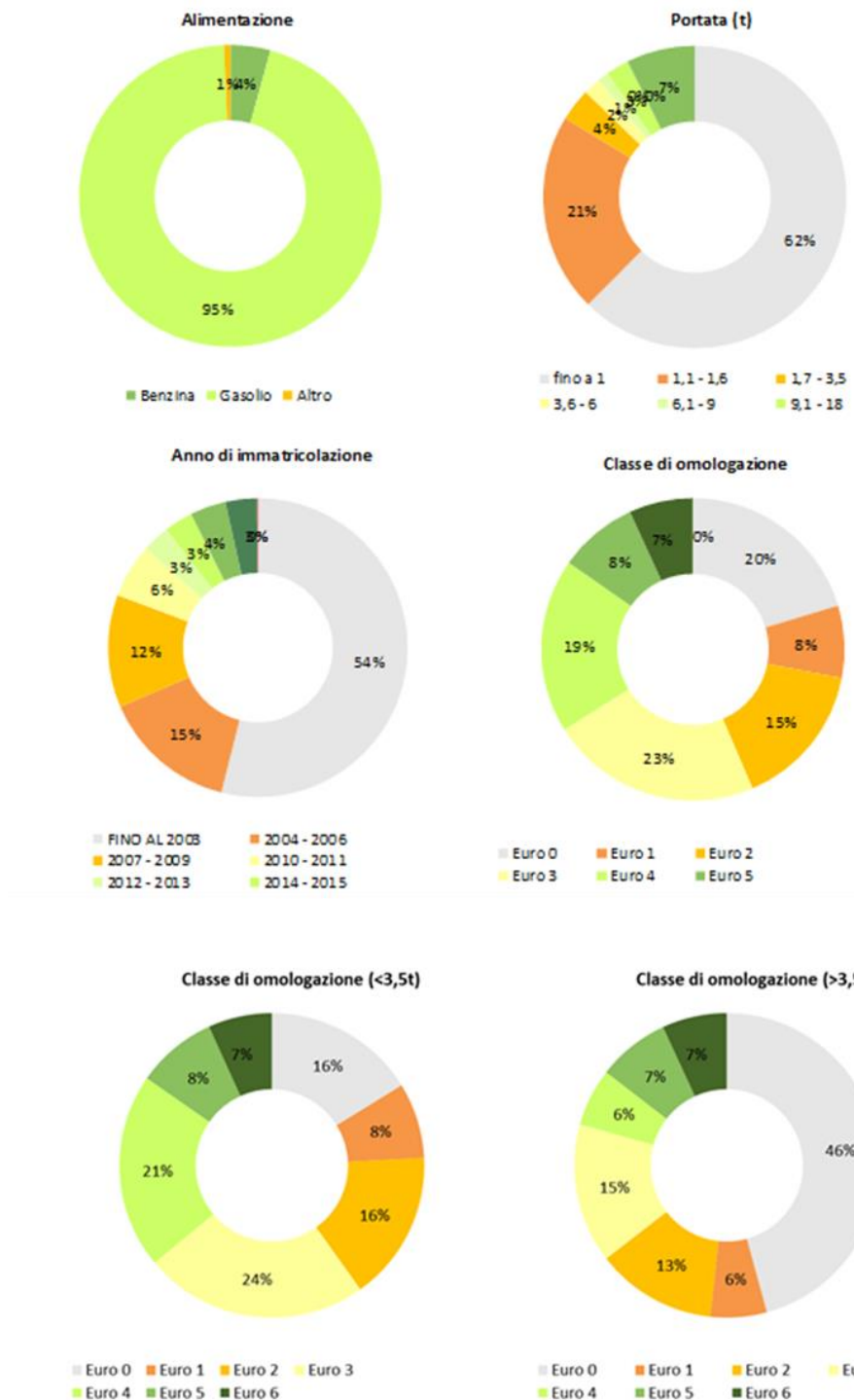


Figure 158 - Parc régional de véhicules commerciaux, 2019. Source: Traitement META des données ACI

Regione Sardegna											
VEICOLI COMMERCIALI CIRCOLANTI PER ALIMENTAZIONE, PORTATA E CLASSE DI OMOLOGAZIONE (2019)											
CLASSE DI OMOLOGAZIONE UE											
Alimentazione	Portata (q.li)	Euro 0	Euro 1	Euro 2	Euro 3	Euro 4	Euro 5	Euro 6	n.c.	n.d.	TOTALE
BENZINA	fino 3,5 t	1.443	891	1.526	1.306	1.015	427	347	-	20	6.975
	oltre 3,5 t	84	-	2	-	1	-	1	-	-	88
	trattori stradali	2	1	-	-	-	-	-	-	-	3
<b>Tot.BENZINA</b>		<b>1.529</b>	<b>892</b>	<b>1.528</b>	<b>1.306</b>	<b>1.016</b>	<b>427</b>	<b>348</b>	-	<b>20</b>	<b>7.066</b>
BENZINA	fino 3,5 t	203	41	47	40	535	68	63	-	-	997
GAS LIQUIDO	oltre 3,5 t	13	-	-	-	-	-	-	-	-	13
	trattori stradali	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Tot.BENZINA E GAS LIQUIDO</b>		<b>216</b>	<b>41</b>	<b>47</b>	<b>40</b>	<b>535</b>	<b>68</b>	<b>63</b>	-	-	<b>1.010</b>
BENZINA	fino 3,5 t	6	2	3	3	9	35	1	-	-	59
METANO	oltre 3,5 t	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1
	trattori stradali	-	-	-	-	-	-	4	-	-	4
<b>Tot.BENZINA E METANO</b>		<b>6</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>9</b>	<b>35</b>	<b>5</b>	-	-	<b>64</b>
ELETTRICO	fino 3,5 t	-	-	-	-	1	3	21	75	-	100
IBRIDO	oltre 3,5 t	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	trattori stradali	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Tot.ELETTRICO E IBRIDO</b>		<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
	fino 3,5 t	20.678	10.154	20.386	31.469	27.068	11.245	8.900	-	14	129.914
	3,6 - 7,5	3.358	385	722	797	429	221	157	-	14	6.083
	7,6 - 12	2.824	308	475	474	205	162	126	-	11	4.585
	12,1 - 14	708	33	54	43	33	23	30	-	4	928
	14,1 - 20	1.248	224	434	433	199	172	150	-	12	2.872
GASOLIO	20,1 - 26	2.255	350	628	544	183	201	160	-	3	4.324
(VI)	26,1 - 28	14	4	-	1	-	-	6	-	-	25
	28,1 - 32	17	36	261	464	150	119	110	-	1	1.158
	Oltre 32	48	7	6	5	8	2	-	-	1	77
	fino a 14	171	-	5	5	4	5	1	-	-	191
	14,1 - 20	251	99	547	901	300	982	927	-	-	4.007
	20,1 - 28	39	8	27	25	13	15	10	-	-	137
GASOLIO	28,1 - 34	2	-	2	4	1	-	1	-	-	10
(TS)	34,1 - 40	1	2	5	3	1	-	-	-	-	12
	40,1 - 50	-	2	3	2	-	2	1	-	-	10
	50,1 - 60	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1
	Non definito	392	35	21	3	3	7	32	-	5	498
<b>Tot.GASOLIO</b>		<b>32.006</b>	<b>11.647</b>	<b>23.576</b>	<b>35.173</b>	<b>28.598</b>	<b>13.156</b>	<b>10.611</b>	-	<b>65</b>	<b>154.832</b>
	fino 3,5 t	4	-	-	-	-	-	-	-	-	4
N.I.	oltre 3,5 t	1	-	-	-	-	-	-	-	1	2
	trattori stradali	1	-	-	2	-	-	-	-	-	3
<b>Tot.ALTRE</b>		<b>6</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1</b>	<b>9</b>
<b>TOTALE COMPLESSIVO</b>		<b>33.763</b>	<b>12.582</b>	<b>25.155</b>	<b>36.524</b>	<b>30.159</b>	<b>13.689</b>	<b>11.048</b>	<b>75</b>	<b>86</b>	<b>163.081</b>

Tableau 36 - Résumé des volumes et du kilométrage de la situation réelle. *Source: Traitement META des données ACI*

### 3.15.2 Estimation des coefficients de consommation unitaire COPERT/CORINAIR;

L'estimation de la consommation d'énergie a été développée selon la méthodologie COPERT/CORINAIR<sup>39</sup>, en se référant à l'approche la plus détaillée (Tier 3)<sup>40</sup>.

Les coefficients de consommation unitaire ont été déterminés en comparant les valeurs de la base de données européenne avec la composition de la flotte de véhicules en circulation, rapportée par les données ACI 2019 en référence à toute la Région de Sardaigne.

Grâce à la lecture détaillée du parc automobile vue au paragraphe précédent, il est possible de calculer des **coefficients d'émission moyens**, opération qui s'effectue en croisant la répartition du parc automobile des véhicules légers (voitures particulières et véhicules utilitaires <3,5 t) et des véhicules lourds par classe d'homologation, avec les émissions moyennes associées à chacun d'entre eux, disponibles dans la base de données européenne COPERT-CORINAIR.

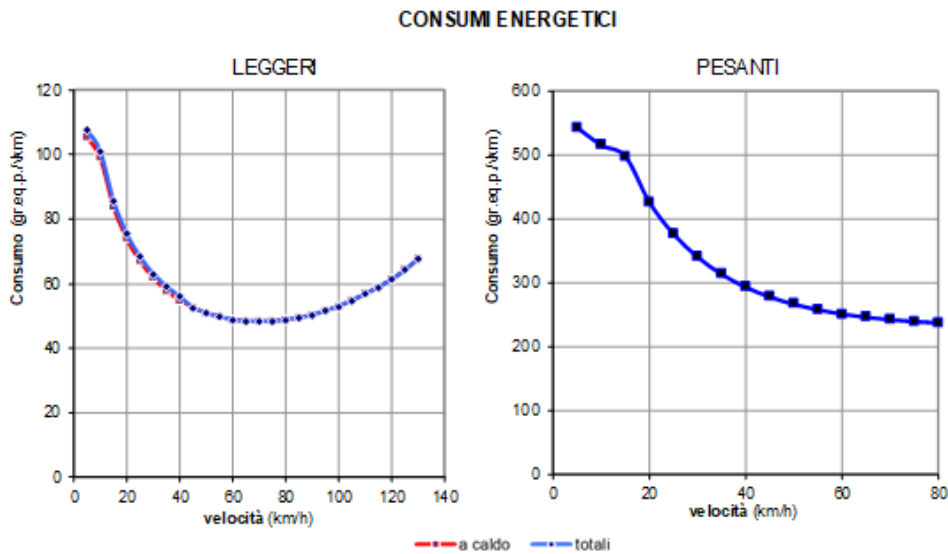
Les courbes résultantes (Figure 159) sont fortement différenciées en termes d'émissions unitaires, les poids lourds présentant des valeurs naturellement plus élevées, et en termes de forme fonctionnelle. Plus précisément, les émissions unitaires des véhicules légers présentent une forme de parabole, avec un maximum de près de 110 gep/km à très basse vitesse, qui diminue jusqu'à un minimum de près de 50 autour de 70 km/h, puis remonte à près de 70 gep/km pour des vitesses autour de 130 km/h. La courbe des poids lourds, en revanche, présente des valeurs initiales beaucoup plus élevées (550 gep/km), qui diminuent toutefois très rapidement, pour finalement s'asymptotiser autour de 230 gep/km pour des vitesses de 80 km/h ou plus.

---

<sup>39</sup> Lignes directrices de l'EEE 2016, mises à jour en 2018

<sup>40</sup> Le groupe de travail CORINAIR (COOrdination INformation AIR) mis en place par la Commission des Communautés européennes élabore et met périodiquement à jour les facteurs unitaires relatifs à la consommation de carburant et aux émissions polluantes (CO, NOx, COV, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>) pour les différentes catégories et sous-catégories de véhicules à moteur. En particulier, des facteurs unitaires sont actuellement disponibles pour les voitures à essence (divisées en trois classes de cylindrée et selon la réglementation ECE en vigueur au moment de l'immatriculation); les voitures diesel (divisées en deux classes de cylindrée) et les voitures GPL; les véhicules utilitaires légers (essence et diesel); les véhicules utilitaires lourds diesel (divisés en trois classes de poids); les bus et les motos (trois classes de cylindrée). En ce qui concerne les voitures à essence et diesel en particulier, les facteurs sont exprimés par des relations continues en fonction de la vitesse moyenne de conduite (pour des vitesses comprises entre 10 et 130 km/h), tandis que les facteurs relatifs aux autres catégories de véhicules sont exprimés par rapport à trois conditions de conduite typiques (urbaine, extra-urbaine, autoroute). Les coefficients sont donnés dans le rapport: *Commission des Communautés européennes (AA.VV.), CORINAIR Working Group on Emission Factors for Calculating 1990 Emissions from Road Traffic*, Bruxelles, 1991; et ses mises à jour ultérieures: Ntziachristos L., Samaras Z.; *COPERT III Programme informatique pour le calcul des émissions du transport routier. Methodology and emission factors* (version 2.1); technical report n.49, European Environmental Agency, Copenhagen, november 2000. Gkatzoflias D., Kouridis C., Ntziachristos L., Samaras Z.; *COPERT 4 Computer programme to calculate emissions from road transport; user manual*, European Environmental Agency, Copenhagen, december 2007, EMEP/EEA air pollutant emissions inventory guidebook, Part B sectoral guidance chapters, §1.A.3.b.





*Source: Traitement META des données ACI*

Figure 159 - Parc régional de véhicules commerciaux, 2019

### 3.15.3 Estimation de la consommation de carburant

En affectant ensuite ces coefficients aux flux de véhicules simulés, il est possible d'estimer les consommations pour chaque arc de réseau et, par agrégation, par secteur d'analyse.

Les statistiques ainsi obtenues sont ensuite traitées par l'application de certains coefficients correcteurs qui tiennent compte de l'augmentation de la consommation dans les zones urbaines (pour chaque arc modélisé, en effet, on connaît le pourcentage urbanisé et dans les classes fonctionnelles les plus basses).

Cette opération est nécessaire car le modèle de trafic attribue une vitesse moyenne journalière constante à chaque arc, sans tenir compte des variations dues aux cycles d'accélération/freinage. Ces dernières sont plus fréquentes dans les zones urbaines et sur les routes locales, où les interférences sont plus fréquentes en raison, par exemple, des intersections, du stationnement latéral, etc. Il s'ensuit qu'une route située dans un contexte extra-urbain et de classe élevée (par exemple, primaire) aura une pénalité plus faible qu'une route locale dans un contexte urbanisé.

Ces valeurs sont ensuite étendues au mois en les multipliant par un nombre spécifique de jours (plus précisément, 29 pour le léger et 28 pour le lourd), et comparées aux ventes provinciales de diesel et d'essence pour novembre 2019 (MSE Oil Bulletin). Les résultats de cet exercice (Figure 160) montrent une bonne corrélation entre la consommation et les ventes, à l'exception des ventes de diesel dans la province de Sardaigne du Sud, où la consommation est beaucoup plus élevée que les ventes. Cela pourrait s'expliquer par la présence de flux de traversée importants (par exemple, Cagliari-Oristano), pour lesquels le ravitaillement en carburant est plus susceptible d'être effectué au départ ou à l'arrivée.

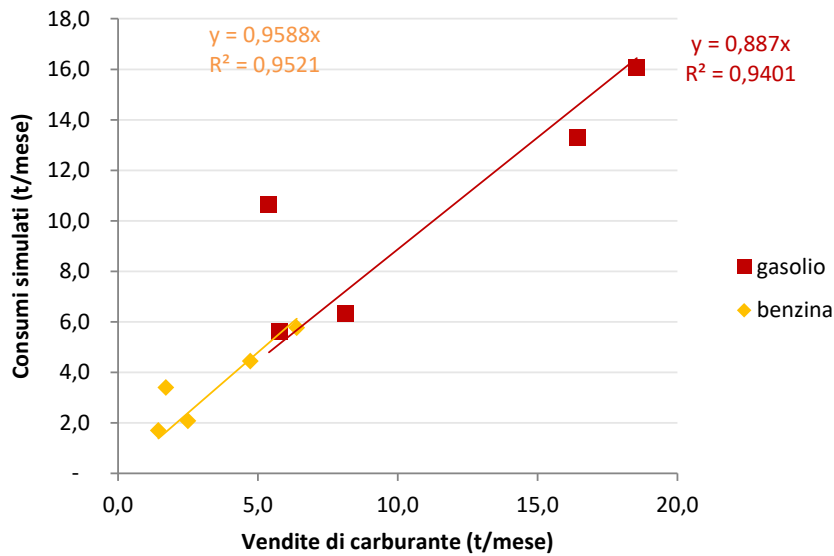


Figure 160 - Comparaison de la consommation simulée et des ventes de carburant, novembre 2019.  
Source: traitement META

Les résultats de ces opérations (Tableau 37) montrent que sur un total de 71,5 ktep consommés au cours du mois de référence, 18,4 peuvent être attribués à l'essence, et les 53,07 restants au diesel. Alors que la consommation d'essence est presque exclusivement attribuable aux véhicules légers, la consommation de diesel est répartie entre les véhicules légers (46,42) et les véhicules lourds (6,62).

Si l'on se réfère plutôt aux catégories de routes (Figure 161), les parts de consommation sont similaires sur le réseau principal (26%), local (24%) et complémentaire (22%), tandis que le rôle du réseau secondaire (16%) et des émissions hors réseau (intra-zonales et entrée/sortie, soit environ 10%) est moins important.

Consumi giornalieri per categoria stradale

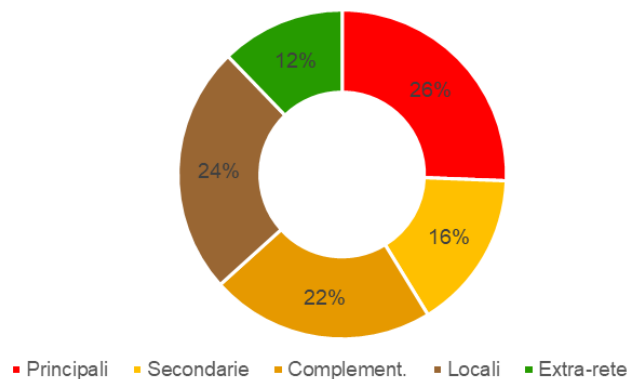


Figure 161 - Répartition de la consommation de carburant par classe de route. Source: traitement META

	CONSUMI DEI VEICOLI LEGGERI				CONSUMI DEI VEICOLI PESANTI				TOTALE CONSUMI										
	BENZINA (kep/mese)				BENZINA (kep/mese)				BENZINA (kep/mese)										
	CA	SU	OR	NU	SS	TOT	CA	SU	OR	NU	SS	TOT	CA	SU	OR	NU	SS	TOT	
Principali	1,04	0,75	0,58	0,55	1,19	4,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	1,05	0,75	0,58	0,56	1,19	4,12	
Secondarie	1,10	0,86	0,11	0,44	0,64	2,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10	0,86	0,11	0,44	0,64	2,85	
Complement.	1,22	0,92	0,43	0,41	1,25	4,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,22	0,92	0,43	0,41	1,25	4,25	
Locali	1,27	0,95	0,37	0,57	1,63	4,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,27	0,95	0,37	0,57	1,63	4,79	
Intrazonali+VE	1,48	0,42	0,31	0,22	0,00	2,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,48	0,42	0,31	0,22	0,00	2,42	
<b>TOT</b>	<b>6,11</b>	<b>3,60</b>	<b>1,79</b>	<b>2,20</b>	<b>4,71</b>	<b>18,41</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>6,11</b>	<b>3,60</b>	<b>1,80</b>	<b>2,20</b>	<b>4,72</b>	<b>18,43</b>	
Vendite (MSE)	6,77	1,81	1,52	2,64	5,01	17,76	-9,7%	98,9%	17,9%	-16,9%	-5,8%	-3,6%	6,77	1,81	1,52	2,64	5,01	17,76	
diff %																			
	GASOLIO (kep/mese)				GASOLIO (kep/mese)				GASOLIO (kep/mese)										
	CA	SU	OR	NU	SS	TOT	CA	SU	OR	NU	SS	TOT	CA	SU	OR	NU	SS	TOT	
Principali	2,68	1,94	1,49	1,42	3,03	10,55	0,34	0,68	0,95	0,61	1,06	3,64	3,02	2,62	2,43	2,04	4,08	14,19	
Secondarie	2,78	1,43	0,27	1,12	1,65	7,24	0,34	0,33	0,04	0,14	0,24	1,09	3,12	1,76	0,31	1,26	1,89	8,33	
Complement.	3,03	2,35	1,10	1,06	3,19	10,72	0,10	0,34	0,07	0,06	0,24	0,81	3,13	2,69	1,18	1,11	3,43	11,54	
Locali	3,14	2,42	0,94	1,45	4,03	11,98	0,18	0,25	0,05	0,05	0,17	0,70	3,32	2,66	1,00	1,50	4,20	12,68	
Intrazonali+VE	3,66	1,07	0,79	0,56	-0,12	5,95	0,16	0,68	0,03	0,01	0,10	0,37	3,82	1,15	0,81	0,56	-0,02	6,33	
<b>TOT</b>	<b>15,28</b>	<b>9,20</b>	<b>4,59</b>	<b>5,60</b>	<b>11,77</b>	<b>46,45</b>	<b>1,12</b>	<b>1,68</b>	<b>1,14</b>	<b>0,87</b>	<b>1,81</b>	<b>6,62</b>	<b>16,40</b>	<b>10,87</b>	<b>5,73</b>	<b>6,47</b>	<b>13,58</b>	<b>53,07</b>	
Vendite (MSE)	18,91	5,50	5,89	8,32	16,75	55,38	-13,3%	97,6%	-2,7%	-22,1%	-18,9%	-4,2%	18,91	5,50	5,89	8,32	16,75	55,38	
diff %																			
	TOTALE (kep/mese)				TOTALE (kep/mese)				TOTALE (kep/mese)										
	CA	SU	OR	NU	SS	TOT	CA	SU	OR	NU	SS	TOT	CA	SU	OR	NU	SS	TOT	
Principali	3,7	2,7	2,1	2,0	4,2	14,7	0,3	0,7	1,0	0,6	1,1	3,7	4,1	3,4	3,0	2,6	5,3	18,3	
Secondarie	3,9	2,0	0,4	1,6	2,3	10,1	0,3	0,3	0,0	0,1	0,2	1,1	4,2	2,3	0,4	1,7	2,5	11,2	
Complement.	4,3	3,3	1,5	1,5	4,4	15,0	0,1	0,3	0,1	0,1	0,2	0,8	4,4	3,6	1,6	1,5	4,7	15,8	
Locali	4,4	3,4	1,3	2,0	5,7	16,8	0,2	0,2	0,1	0,0	0,2	0,7	4,6	3,6	1,4	2,1	5,8	17,5	
Intrazonali+VE	5,1	1,5	1,1	0,8	-	8,4	0,2	0,1	0,0	0,0	0,1	0,4	5,3	1,6	1,1	0,8	-	8,7	
<b>TOT</b>	<b>21,39</b>	<b>12,80</b>	<b>6,38</b>	<b>7,80</b>	<b>16,48</b>	<b>64,86</b>	<b>1,12</b>	<b>1,68</b>	<b>1,15</b>	<b>0,87</b>	<b>1,82</b>	<b>6,64</b>	<b>22,52</b>	<b>14,48</b>	<b>7,53</b>	<b>8,67</b>	<b>18,30</b>	<b>71,50</b>	
Vendite (MSE)	25,7	7,3	7,4	11,0	21,8	73,1	-12,3%	97,9%	1,5%	-20,9%	-15,9%	-2,2%	25,7	7,3	7,4	11,0	21,8	73,1	
diff %																			

Source: traitement META

Tableau 37- Consommation par carburant (essence et diesel) et par type de véhicule (léger, lourd, total)

Après avoir remonté les données quotidiennes jusqu'au mois de référence, et calibré le module environnemental comme illustré grâce à la comparaison avec le Oil Bulletin, il est possible de calculer la consommation annuelle. En particulier, le mois de référence est étendu avec des coefficients appropriés (Tableau 38) calculés sur la base de la tendance mensuelle des ventes en 2019 (Figure 162).

COEFFICIENTI DI ESPANSIONE		
RIEPILOGO		
	LEGGERI	PESANTI
G	0,979	1,000
F	0,908	1,000
M	1,000	1,000
A	1,050	1,000
M	1,158	1,000
G	1,268	1,050
L	1,455	1,100
A	1,660	1,100
S	1,223	1,050
O	1,017	1,000
N	1,000	1,000
D	1,017	1,000
<b>TOT</b>	<b>13,735</b>	<b>12,300</b>

Source: traitement META

Tableau 38 - Coefficients d'expansion de la consommation (mois > année)

Ces coefficients ont été plafonnés dans le cas des véhicules lourds, pour lesquels on suppose une incidence de la saison touristique plus faible que pour les véhicules légers. En conséquence, le mois de référence a été augmenté de 13,7 pour les véhicules légers et de 12,3 pour les véhicules lourds.

Cette estimation de la consommation annuelle est ensuite intégrée à la consommation attribuable au réseau de bus urbain et suburbain. Comme le réseau de bus ne fait pas partie des composantes de la demande utilisées dans le modèle de trafic, cette estimation a été faite de manière paramétrique.

En particulier, le *compte national des infrastructures et des transports 2017-2018* fait état pour la région Sardaigne d'un total de 1 502 bus (536 urbains et 966 suburbains), pour une production de 66,2 millions de bus-km/an (22,2 urbains et 43,9 suburbains).

En supposant une vitesse urbaine moyenne de 15 km/h et une vitesse extra-urbaine moyenne de 30 km/h, sur la base des fonctions de consommation du *guide de l'inventaire des émissions de polluants atmosphériques (Agence européenne pour l'environnement)*, on a calculé des coefficients de consommation unitaire de 409 et 308 geq/km, respectivement dans les zones urbaines et extra-urbaines.

Enfin, en multipliant la production kilométrique annuelle par les deux coefficients, on obtient une consommation totale de l'ensemble du réseau de bus de 23 ktep/an.

Il en résulte une estimation globale de 1.010 ktep/an consommés en Sardaigne par rapport aux 1.009 rapportés dans le Bulletin Pétrolier. La consommation d'essence a été sous-estimée de 2,3%, tandis que la consommation de diesel a été surestimée de 0,8%.

CONFRONTO VENDITE/CONSUMI ANNUI				
	Benzina	Diesel	GPL	
	kt/anno			ktep/anno
CONSUMI	239	728	13	<b>1010</b>
VENDITE	244	722	13	<b>1009</b>
Differenza %	-2,3%	0,8%	0,0%	<b>0,0%</b>

Tableau 39- Comparaison de la consommation simulée et des ventes de carburant, 2019. Source: traitement META

Ainsi, 90% de la consommation (905 ktep/an) est imputable aux véhicules légers, 8% (81 ktep/an) aux véhicules utilitaires lourds et 2% (23 ktep/an) au réseau de transport public local par route. En particulier, la quasi-totalité de la consommation d'essence est imputable aux véhicules légers (253 ktep/an), tandis que la consommation de diesel se répartit entre les véhicules légers (638 ktep/an) et les véhicules lourds et les bus (104 ktep/an).

RIPARTIZIONE CONSUMI				
	Benzina	Diesel	GPL	
	ktep/anno			
LEGGERI	253	638	14,5	<b>905</b>
PESANTI	0	81		<b>82</b>
BUS		23		<b>23</b>
TOTALE	<b>253</b>	<b>719</b>	<b>14,5</b>	<b>1010</b>

Tableau 40- Comparaison de la consommation simulée et des ventes de carburant, 2019. Source: traitement META

### 3.16 Analyse du potentiel de pénétration du GNL dans la flotte de camions en circulation

#### 3.16.1 Analyse de la *rotation* du parc de véhicules en circulation

L'estimation de la pénétration potentielle du GNL dans la flotte de camions est étroitement liée, tout d'abord, à la dynamique de rotation de la flotte elle-même: en effet, dans l'état actuel des technologies disponibles, l'adoption du nouveau carburant n'est pas tant liée à la modernisation des véhicules existants qu'à l'achat de véhicules neufs.

Les données de l'ACI montrent qu'entre 2010 et 2019, la flotte de camions immatriculés en Sardaigne est passée d'environ 140 à plus de 160 mille unités (+16%), représentée toutefois en grande partie par les fourgons (véhicules dont le poids total brut est inférieur ou égal à 3,5 t), qui sont également la catégorie caractérisée par la plus forte augmentation au cours de la période. En revanche, le parc de camions proprement dit a *diminué* d'environ 2 mille unités (-12%), tandis que celui des tracteurs pour semi-remorques, après une baisse non négligeable (-11%) entre 2010 et 2014, s'est redressé en 2019, et a même légèrement dépassé (+2%) les valeurs initiales.



A ces valeurs s'ajoute le nombre d'autobus qui, au cours de la période considérée, s'est toujours maintenu entre 3.200 et 3.500 unités.

Anno	Consistenza				
	furgoni	autocarri	motrici	Totale	autobus
2010	117.562	18.279	4.787	<b>140.628</b>	3.275
2011	120.704	18.040	4.749	<b>143.493</b>	3.399
2012	122.544	17.686	4.562	<b>144.792</b>	3.330
2013	124.394	16.591	4.328	<b>145.313</b>	3.264
2014	125.997	16.318	4.257	<b>146.572</b>	3.232
2015	128.288	16.192	4.299	<b>148.779</b>	3.226
2016	131.599	16.129	4.427	<b>152.155</b>	3.254
2017	134.912	16.102	4.599	<b>155.613</b>	3.343
2018	138.295	16.149	4.791	<b>159.235</b>	3.371
2019	141.971	16.234	4.876	<b>163.081</b>	3.474

Tableau 41- Sardaigne: nombre de camions et d'autobus, 2010-2019. *Source: ACI*

Si l'on examine la série historique des immatriculations, on remarque immédiatement une variabilité temporelle plus marquée, ce qui est compréhensible compte tenu du fait qu'elle donne un chiffre annuel beaucoup plus soumis aux fluctuations cycliques que la valeur cumulée des véhicules en circulation.

Il en résulte une fluctuation considérable des taux de rotation des flottes, calculés comme le rapport entre les premières immatriculations et la taille de la flotte: ces taux varient entre 1,1% et 2,7% pour les camionnettes, entre 0,2% et 0,6% pour les camions, et entre 0,5% et 4,6% pour les tracteurs semi-remorques. La variabilité est encore plus grande dans le cas des autobus (dont la cohérence est fortement influencée par la présence de grandes flottes d'entreprises), avec des taux minimums de 0,5% et des taux maximums de plus de 10%.

Anno	Prime iscrizioni				
	furgoni	autocarri	motrici	Totale	autobus
2010	3.127	100	38	<b>3.265</b>	333
2011	2.412	67	24	<b>2.503</b>	188
2012	1.529	37	35	<b>1.601</b>	85
2013	1.361	29	90	<b>1.480</b>	39
2014	1.594	41	102	<b>1.737</b>	36
2015	1.968	48	118	<b>2.134</b>	16
2016	2.599	70	175	<b>2.844</b>	32
2017	2.527	80	211	<b>2.818</b>	76
2018	2.473	98	221	<b>2.792</b>	26
2019	2.461	105	123	<b>2.689</b>	147

Tableau 42- Sardaigne: premières immatriculations de camions et d'autobus, 2010-2019. *Source: ACI*

Anno	Tasso di ricambio				
	furgoni	autocarri	motrici	Totale	autobus
2010	2,7%	0,5%	0,8%	<b>2,3%</b>	10,2%
2011	2,0%	0,4%	0,5%	<b>1,7%</b>	5,5%
2012	1,2%	0,2%	0,8%	<b>1,1%</b>	2,6%
2013	1,1%	0,2%	2,1%	<b>1,0%</b>	1,2%
2014	1,3%	0,3%	2,4%	<b>1,2%</b>	1,1%
2015	1,5%	0,3%	2,7%	<b>1,4%</b>	0,5%
2016	2,0%	0,4%	4,0%	<b>1,9%</b>	1,0%
2017	1,9%	0,5%	4,6%	<b>1,8%</b>	2,3%
2018	1,8%	0,6%	4,6%	<b>1,8%</b>	0,8%
2019	1,7%	0,6%	2,5%	<b>1,6%</b>	4,2%

Tableau 43 - Sardaigne: taux de remplacement des camions et des bus, 2010-2019. Source: Traitement META des données ACI

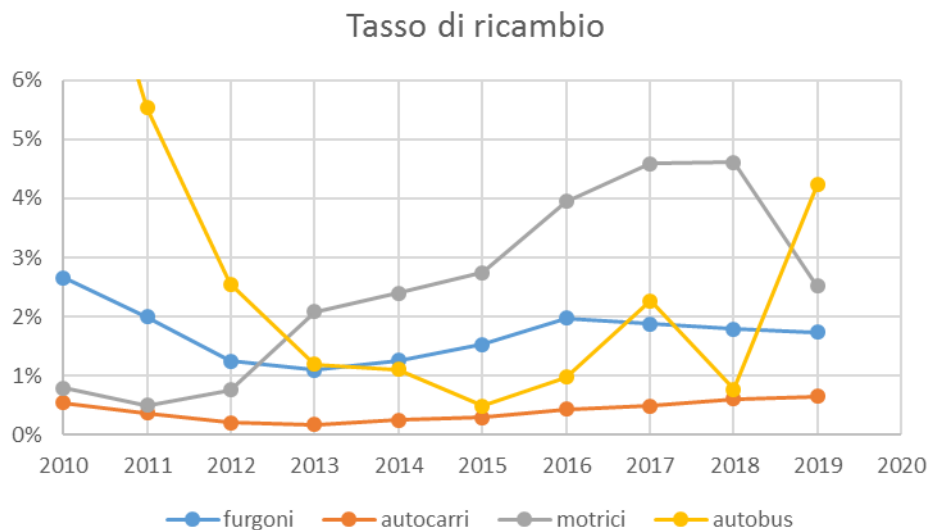


Figure 162 - Sardaigne: taux de remplacement des camions et des bus, 2010-2019. Source: Traitement META des données ACI

Dans le cas des camions, il est important d'observer comment la nette différenciation entre les taux de rotation caractérisant les différents segments de capacité tend à accroître de plus en plus la forte polarisation déjà existante entre une flotte très légère (camionnettes) et une flotte très lourde (tracteurs pour semi-remorques), au détriment des véhicules de poids intermédiaire (camions). Cela reflète la tendance actuelle à l'externalisation des chaînes logistiques, qui sont de plus en plus liées à des cycles complexes, composés de phases de collecte/distribution, réalisées avec de petits véhicules, et de phases de transfert en ligne, réalisées avec des camions articulés.

### 3.16.2 Estimation du potentiel de pénétration du GNL

Compte tenu des considérations développées dans le paragraphe précédent, le taux de rotation de la flotte de véhicules en circulation place effectivement une limite supérieure aux niveaux de pénétration du GNL dans le secteur du transport routier de marchandises.

Une estimation optimiste du potentiel peut donc être dérivée de l'hypothèse, pour l'ensemble de la période 2020-2030, du taux de rotation maximal observé au cours de la décennie précédente, qui s'élève à 4,6% pour les tracteurs et à 0,6% pour les camions.

A ces valeurs, il faut ensuite ajouter une estimation de l'incidence des véhicules fonctionnant au GNL sur le total des premières immatriculations. Compte tenu des différences de coûts d'acquisition et de fonctionnement, et de la nécessité de mettre en place un réseau de distribution adéquat au niveau régional, il semble difficile d'envisager dans ce cas une part supérieure à 40% du total.

Le résultat obtenu sur la base de ces hypothèses est présenté dans le tableau ci-dessous: comme on peut le constater, l'incidence des véhicules fonctionnant au GNL sur le parc total en 2025 et 2030 atteint respectivement 9÷18% dans le cas des semi-remorques, et seulement 1,3÷2,6% dans le cas des camions.

	autocarri	motrici	autobus
<b><i>tasso ricambio</i></b>			
max	0,6%	4,6%	10,2%
min	0,2%	0,5%	0,5%
<b><i>incidenza GNL su nuovo (media 2020-30)</i></b>			
max	40%	40%	40%
min	20%	20%	20%
<b><i>% del parco GNL al 2025</i></b>			
max	1,3%	9,2%	20,3%
min	0,2%	0,5%	0,5%
<b><i>% del parco GNL al 2030</i></b>			
max	2,6%	18,5%	40,7%
min	0,4%	1,0%	1,0%

Tableau 44 - Sardaigne: incidence estimée en pourcentage des véhicules fonctionnant au GNL, 2025-2030.  
 Source: Traitement META des données ACI

Le fort différentiel entre les taux de pénétration potentiels du GNL dans les flottes de camions et de véhicules articulés rend nécessaire l'estimation de l'incidence de ces deux catégories de véhicules sur le volume total du trafic lourd (293 millions de vkm/an), et sur la consommation d'énergie correspondante (81,7 ktep/an).

Si l'on compare le volume annuel estimé du trafic de poids lourds sur le réseau au nombre total de poids lourds en circulation (21 110 unités, y compris les camions et les véhicules articulés), on obtient une valeur de seulement 13 900 km/véhicule/an. Il s'agit d'une valeur très limitée - comparable à celle des véhicules légers circulant sur l'île - qui s'explique peut-être par deux facteurs concomitants:

- la présence au sein du parc de véhicules très anciens, probablement soumis à et au kilométrage annuel moyen très limité
- l'existence de flux lourds interrégionaux, de nature à transférer sur le continent une partie du kilométrage parcouru par les véhicules de moyenne et longue distance.

En supposant un kilométrage annuel moyen de 30 000 km pour les camions articulés et de 9 000 km pour les camions, on peut supposer que le volume total du trafic est réparti plus ou moins également entre les deux catégories.

Cela permet de pondérer le kilométrage attendu des véhicules fonctionnant au GNL, en supposant que leur kilométrage annuel est le double de la moyenne des autres véhicules<sup>41</sup>: le résultat, présenté dans le tableau ci-dessous, correspond à un volume d'environ 61 millions de vkm/an, dont 54 millions de vkm concernent des mouvements de véhicules articulés, et les 7 millions restants des mouvements de camions. Ces valeurs correspondent, en tenant compte des différentes consommations unitaires qui caractérisent les deux catégories, à une consommation de GNL de l'ordre de 21,6 ktep/an, égale à 26,3% du total lié au trafic des véhicules utilitaires lourds.

	Autocarri	Articolati	Totale
Consistenza	16 234	4 876	<b>21 110</b>
km/veicolo/anno	9 094	30 000	<b>13 923</b>
Mvkm/anno	147.63	146.28	<b>293.91</b>
% veicoli a GNL al 2030	2.6%	18.5%	<b>6.3%</b>
Consistenza	422	900	<b>1 321</b>
km/veicolo GNL/anno	18 188	60 000	<b>46 659</b>
Mvkm GNL/anno	7.67	53.98	<b>61.65</b>
% percorrenza GNL al 2030	5.2%	36.9%	<b>12.5%</b>
Consumi GNL (ktep)	1.4	20.1	<b>21.6</b>
% consumi GNL al 2030	5.2%	36.9%	<b>26.3%</b>

Source: Traitement META des données ACI et MSE.

Tableau 45- Sardaigne: estimation de la consommation de GNL par le trafic commercial lourd, 2030

<sup>41</sup> Cette hypothèse est justifiée par le fait que l'achat de véhicules "neufs" devrait se concentrer sur les segments de la flotte ayant un taux de rotation plus élevé, et donc un niveau plus élevé d'utilisation annuelle moyenne des véhicules.

### 3.17 Hypothèses sur le réseau de distribution

Un dernier élément d'intérêt, résultant de l'estimation de la consommation potentielle globale de GNL par le trafic commercial lourd, concerne la structure du réseau de distribution, qui doit évidemment être cohérente avec le cadre des hypothèses adoptées jusqu'ici.

La structure actuelle du réseau de distribution, illustrée dans la carte de la page suivante, peut compter sur environ 700 points de vente, concentrés essentiellement dans les zones urbaines et le long des principaux axes routiers, mais présents de manière diffuse dans toute la région.

En revanche, une estimation approximative des niveaux de rentabilité de l'installation d'un distributeur de GNL conduit à un seuil minimal de l'ordre de 3 ktep/an, valeur qui se réfère à un nombre maximal de points de vente, destinés au transport commercial lourd, égal à :

$$21,6 \text{ ktep} : 3 \text{ ktep/point de vente} = 7,2 \text{ points de vente}$$

correspondant à environ 1% des prises existantes.

La disproportion ainsi obtenue reflète deux facteurs importants :

- d'une part, le ciblage du seul trafic commercial lourd, ce qui conduit à l'exclusion de tous les points du réseau urbain, qui représentent une part importante du total
- d'autre part, la forte concentration du même trafic commercial lourd sur un ensemble réduit de routes principales, qui tend à déterminer, toutes choses égales par ailleurs, des conditions de non-rentabilité pour l'installation de points de vente de GNL dans des portions importantes de l'île (comme Ogliastra).

En prenant comme valeur de référence un nombre de points de vente 4/6 sur l'ensemble de l'île, il semble possible, en première approximation, d'identifier les zones suivantes comme essentielles pour la structuration d'un réseau adéquat :

- accéder à Cagliari par la SS131
- Région d'Oristano
- Région de Sassari/Porto Torres
- Région d'Olbia/Golfo Aranci.

La zone de Nuoro le long de la SS131dcn, la zone de Macomer-Ghilarza le long de la SS131 et la zone de Carbonia-Iglesias le long de la SS126 ou de la SS130 peuvent être ajoutées à ces zones en tant que zones d'attention supplémentaires.





Source: Méta élaborations  
 Figure 72 - Sardaigne: réseau de distributeurs de carburant

### 3.17.1 Configuration du réseau de distribution de GNL sur le territoire sarde

Du point de vue de sa configuration spatiale, le réseau de distribution de GNL dans la région de la Sardaigne peut être décrit à travers:

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

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

#### PORTS DE DÉBARQUEMENT

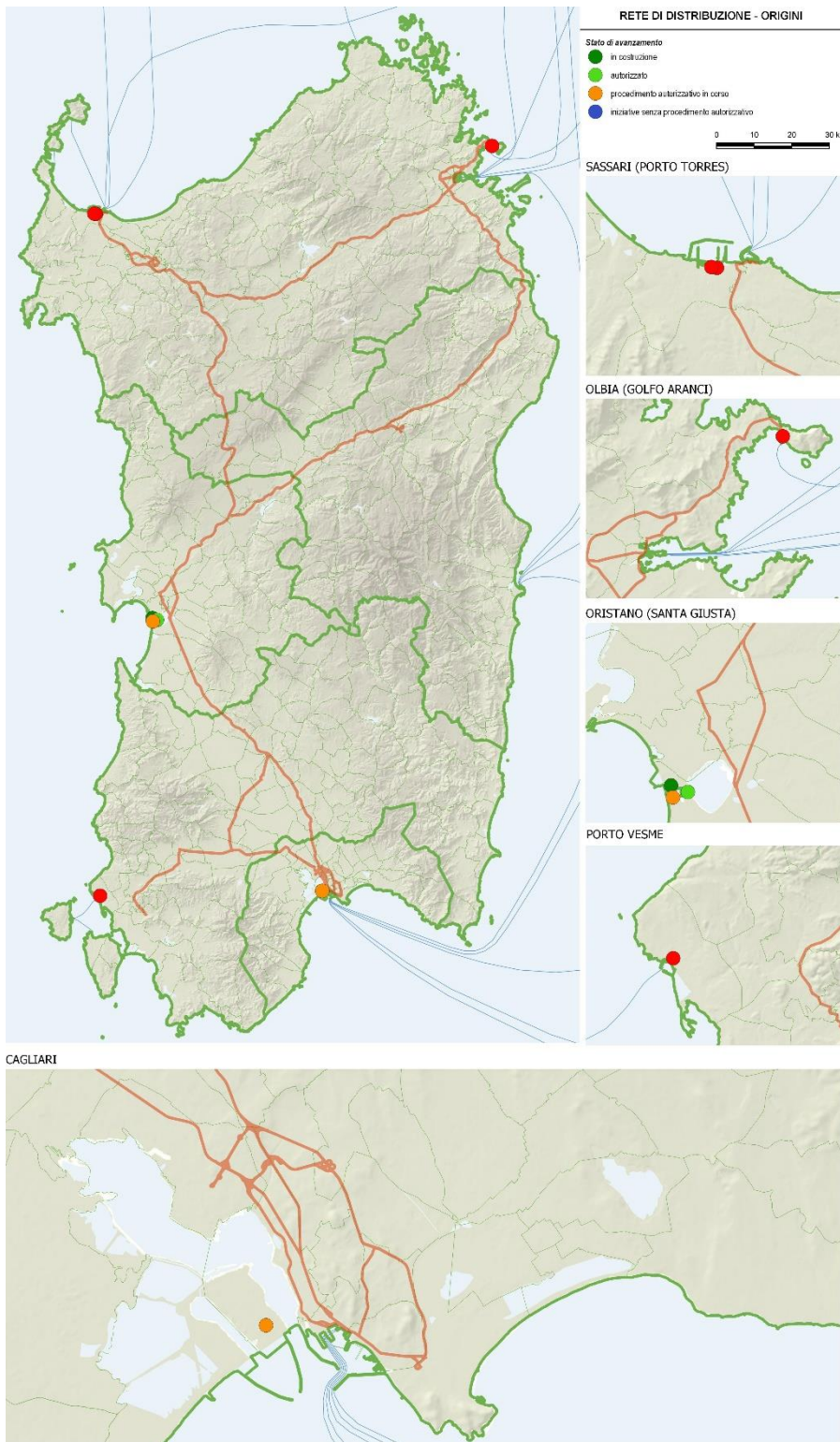
Au stade actuel de développement des études relatives à l'utilisation éventuelle du GNL en Sardaigne, le seul port caractérisé par des perspectives concrètes de mise en œuvre à court terme des infrastructures nécessaires au déchargement du GNL est celui d'**Oristano Santa Giusta**, où un premier dépôt est en cours de construction, un deuxième a terminé le processus d'autorisation et un troisième est en voie d'être autorisé.

En perspective, les caractéristiques mêmes du système logistique de l'île permettent de supposer l'installation d'équipements similaires dans un nombre assez restreint d'autres ports d'escale, essentiellement **Porto Torres** (deux initiatives, qui n'ont pas encore entrepris la procédure d'autorisation), **Olbia/Golfo Aranci** (une initiative, sans procédure d'autorisation), **Cagliari** (une initiative en cours d'autorisation) et **Porto Vesme** (une initiative, sans procédure d'autorisation) (Tableau 46).

Stato della procedura autorizzativa	PUNTI DI ORIGINE					TOTALE
	Porto Torres	Olbia	Oristano	Porto Vesme	Cagliari	
in costruzione			1			1
procedura conclusa positivamente			1			1
procedura in corso			1		1	2
iniziativa senza procedura autorizzativa	2	1		1		4
<b>TOTALE</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>8</b>

Source: Traitement META des données REF-E

Tableau 46 - Emplacement des points d'origine par statut de permis L'emplacement de ces points d'origine est illustré dans la Figure 163.



Traitement META

Figure 163 - Ports de débarquement du GNL



## POINTS DE RÉSEAU POUR LES UTILISATEURS FIXES

En ce qui concerne les points du réseau, destinés aux utilisateurs industriels et/ou aux utilisateurs fixes civils ou tertiaires, cette étude acquiert leur position par rapport à la situation existante et/ou aux informations disponibles sur les utilisateurs potentiels de GNL.

En particulier, le scénario d'**utilisateurs industriels hors réseau** équipés d'installations de stockage de GNL par satellite approvisionnées par des navires cryogéniques suppose que la demande totale du secteur industriel du scénario "de base" en 2030 est égale à environ 20 kt/an de GNL répartis entre 20 utilisateurs, avec une consommation annuelle moyenne par utilisateur d'environ 1 000 t/an de GNL.

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

En ce qui concerne plutôt le scénario des **réseaux de distribution isolés**, on suppose que la demande totale pour le secteur civil du scénario "de base" en 2030 est égale à environ 12 kt/an de GNL répartis entre 43 réseaux isolés, avec une consommation annuelle moyenne pour les dépôts satellites connexes d'environ 280 t/an de GNL.

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

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

Cela donne un total de **63 points de réseau destinés aux utilisateurs fixes**, répartis principalement dans les provinces de Nuoro (22) et de Sassari (19), et dans une moindre mesure dans les provinces de Cagliari (9), d'Oristano (6) et de Sardaigne du Sud (7) (Tableau 47).

PUNTI RETE PER PROVINCIA						
	SS	OR	NU	SU	CA	TOT
industrie off-grid	4	4	0	4	8	20
reti distribuzione isolate	15	2	22	3	1	43
<b>Totale Sardegna</b>	<b>19</b>	<b>6</b>	<b>22</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>63</b>

Source: Traitement META des données REF-E

Tableau 47- Localisation des points de réseau par province et par type

Globalement, on estime que la demande de GNL d'ici 2030 sera de près de 32 000 tonnes/an, principalement concentrée dans le sud de la Sardaigne (8 800) et à Sassari (8 700), puis à Cagliari (6 800) et de façon résiduelle à Nuoro (4 100) et Oristano (3 500). Il en résulte naturellement que les utilisateurs industriels, moins nombreux, expriment une demande plus importante (près de 20'000 t/an) par rapport aux réseaux de distribution isolés (12'000) (Tableau 48).

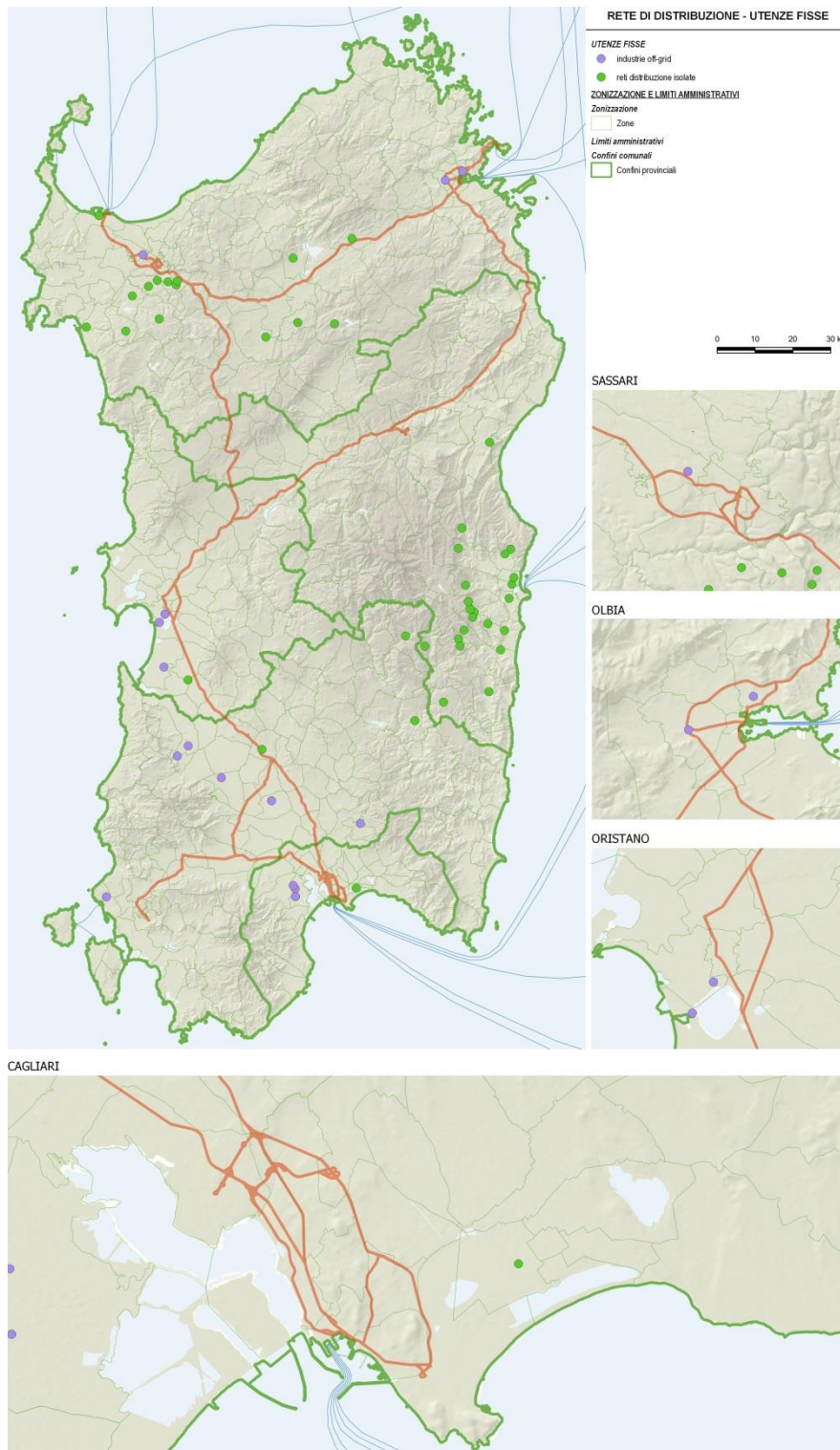
DOMANDA DI GNL al 2030 (t/anno)						
	SS	OR	NU	SU	CA	TOT
industrie off-grid	2.186	3.319	-	8.282	6.185	19.973
reti distribuzione isolate	6.525	188	4.125	563	600	12.000
<b>Totale Sardegna</b>	<b>8.711</b>	<b>3.507</b>	<b>4.125</b>	<b>8.845</b>	<b>6.785</b>	<b>31.973</b>

Source: Traitement META des données REF-E

Tableau 48- Localisation des points de réseau par province et par type

L'emplacement de ces points est indiqué sur la Figure 164.





Traitement META

Figure 164 - Points de réseau pour les utilisateurs fixes

## STATIONS-SERVICE POUR LA VENTE D'AUTOMOBILES GNL ET L-GNC

La localisation des stations-service destinées à la vente de GNL automobile s'effectue sur la base de deux grandes étapes méthodologiques:

- l'estimation d'une configuration optimale, basée sur l'estimation du potentiel présentée dans le rapport pour le scénario "de base" dans T3.3.1;
- comparaison avec les stations-service dont la mise en service est déjà prévue, et définition de la structure qui en résulte.

Le montage optimal est estimé en comparant le potentiel global estimé de 21,6 kt/an avec un seuil de rentabilité de 3 kt/an pour chaque station-service, ce qui donne un réseau de distribution pour les véhicules à moteur d'environ 7 points de réseau.

Tali punti debbono ragionevolmente essere collocati lungo la rete viaria maggiormente utilizzata dai veicoli pesanti, che nel caso della Regione Sardegna, come evidenziato sempre nel rapporto T3.4, si articola in un numero piuttosto limitato di assi stradali, quali segnatamente i seguenti:

- SS131 "Carlo Felice" (112,4 Mvkm lourds/an, soit 38,1% du réseau total);
- Réseau routier "Nuorese" SS131dcn (40,4 Mvkm lourds/an, soit 13,6% du réseau total);
- SS130 "Iglesiente" (9,7 Mvkm lourds/an, 3,3% du réseau total);
- SS597 "di Logudoro" (8,7 Mvkm lourds/an, 3,0% du réseau total);
- SS729 "Sassari-Olbia" (7,5 Mvkm poids lourds/an, 2,6% du réseau total);
- SS195 "Sulcitana" (7,3 Mvkm de véhicules lourds/an, 2,4% du réseau total).

Ces axes supportent à eux seuls un trafic d'environ 186 Mvkm lourds par an, soit environ 63% de la consommation estimée pour l'ensemble de la région Sardaigne. En dehors de ce réseau principal, la consommation se répartit comme suit:

- Ville métropolitaine de Cagliari: 29,3 Mvkm lourds/an (9,9% du réseau total);
- Province de la Sardaigne du Sud: 36,4 Mvkm lourds/an (12,3%);
- Province d'Oristano: 7,0 Mvkm lourds/an (3,6%);
- Province de Nuoro: 10,5 Mvkm lourds/an (2,4%);
- Province de Sassari: 27,4 Mvkm lourds/an (9,2%).

La couverture maximale du territoire est obtenue en recherchant l'emplacement le plus homogène pour les 7 distributeurs, ce qui correspond également à des critères de

minimisation de la distance entre les points de distribution (stations-service) et ceux de consommation effective.

En supposant un nombre de 7 points, on peut supposer que chaque station-service comprend dans sa zone une portion du réseau primaire caractérisée par un volume de trafic de  $296 : 7 = 42,3$  Mvkm poids lourds/an.

En première approximation, ces points ont été localisés le long des principaux axes routiers énumérés ci-dessus, où se concentre la majeure partie de la demande. Par la suite, pour chaque zone:

- le réseau routier de référence a été extrait et, sur la base des flux simulés, le nombre total de vkm lourds/an l'affectant a été calculé;
- l'objet ponctuel (station-service) accessible au coût généralisé le plus bas a été associé.

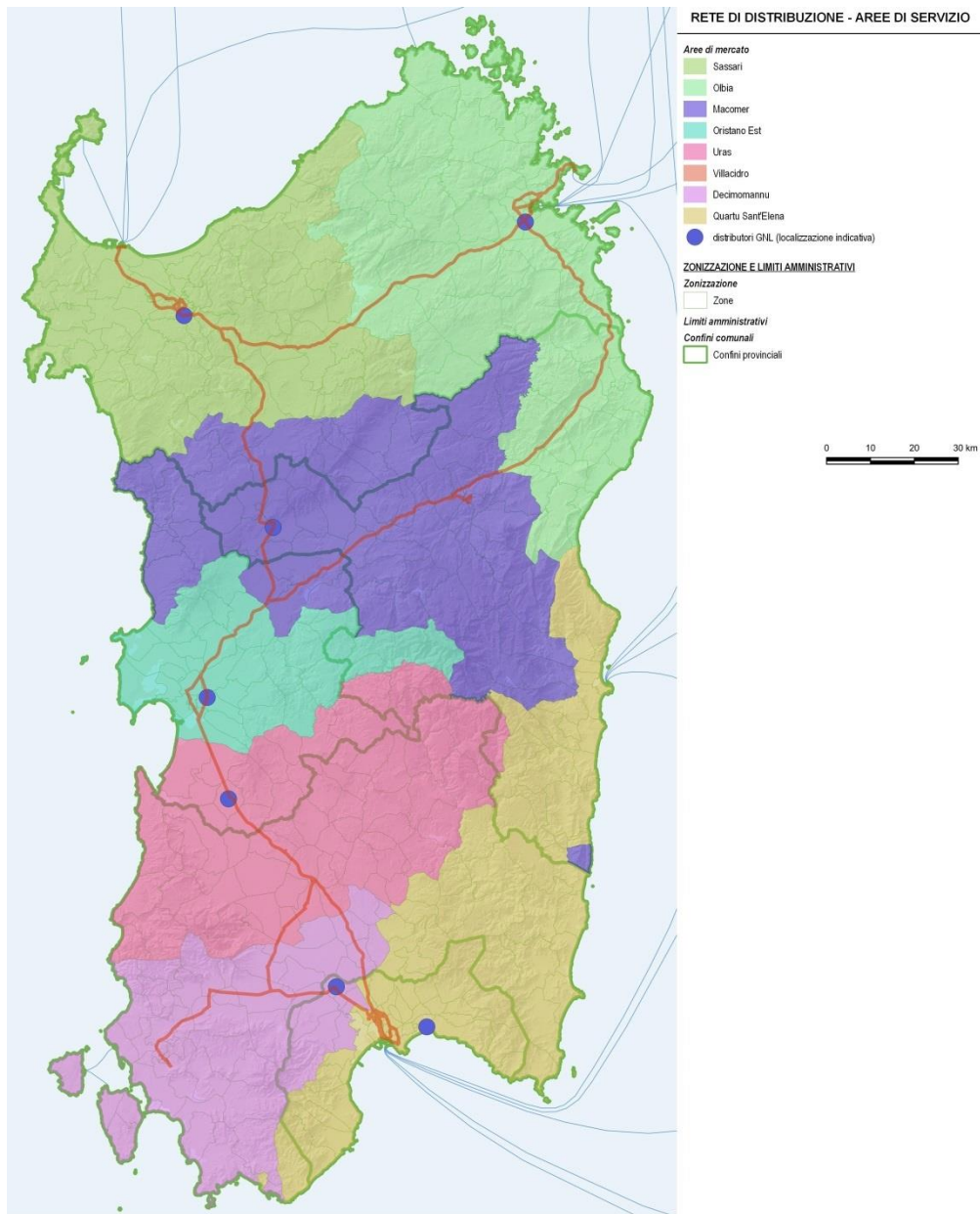
Cela a permis de définir, pour chaque distributeur, non seulement la zone de marché correspondante, mais aussi la demande sous-jacente, qui, comme on peut le voir dans le tableau ci-dessous, varie entre 28,8 et 49,6 millions de véhicules lourds-km/an (Tableau 49).

N	Emplacement présumé	Lourd Mvkm/an
1	Sassari	43,4
2	Olbia	43,3
3	Macomer	45,3
4	Oriстано (est)	28,8
5	Uras	49,6
6	Decimomannu	37,6
7	Quartu Sant'Elena	46,0
<b>TOT</b>		<b>294,0</b>

Source: traitement META

Tableau 49 - Localisation hypothétique des stations-service avec vente de GNL automobile - scénario théorique

La configuration des différentes zones de marché est présentée dans la Figure 165.



*Traitement META*

Figure 165 - Localisation des stations-service GNL - scénario théorique

D'un point de vue méthodologique, la procédure d'identification des points du réseau de distribution de GNL sur le réseau routier, ici réalisée sur une base empirique, pourrait être affinée en utilisant un algorithme spécifique de partitionnement optimal du graphe en composantes connectées, pour la description duquel voir le rapport T3.6.

Cette première hypothèse doit toutefois être comparée à l'ensemble des stations-service déjà prévues sur le territoire sarde, composé de 4 emplacements supplémentaires, tous concentrés dans le quadrant sud-ouest de l'île:

- deux à l'intérieur du port d'Oristano;
- un dans la municipalité de Villacidro;
- un dans la municipalité d'Uras.

La synthèse nécessaire est réalisée en adaptant l'hypothèse initiale aux lieux déjà prévus, et en particulier:

- la station de ravitaillement prévue à l'est d'Oristano est remplacée par celles prévues à l'intérieur du port;
- la station d'Uras est confirmée;
- la station de Villacidro est ajoutée

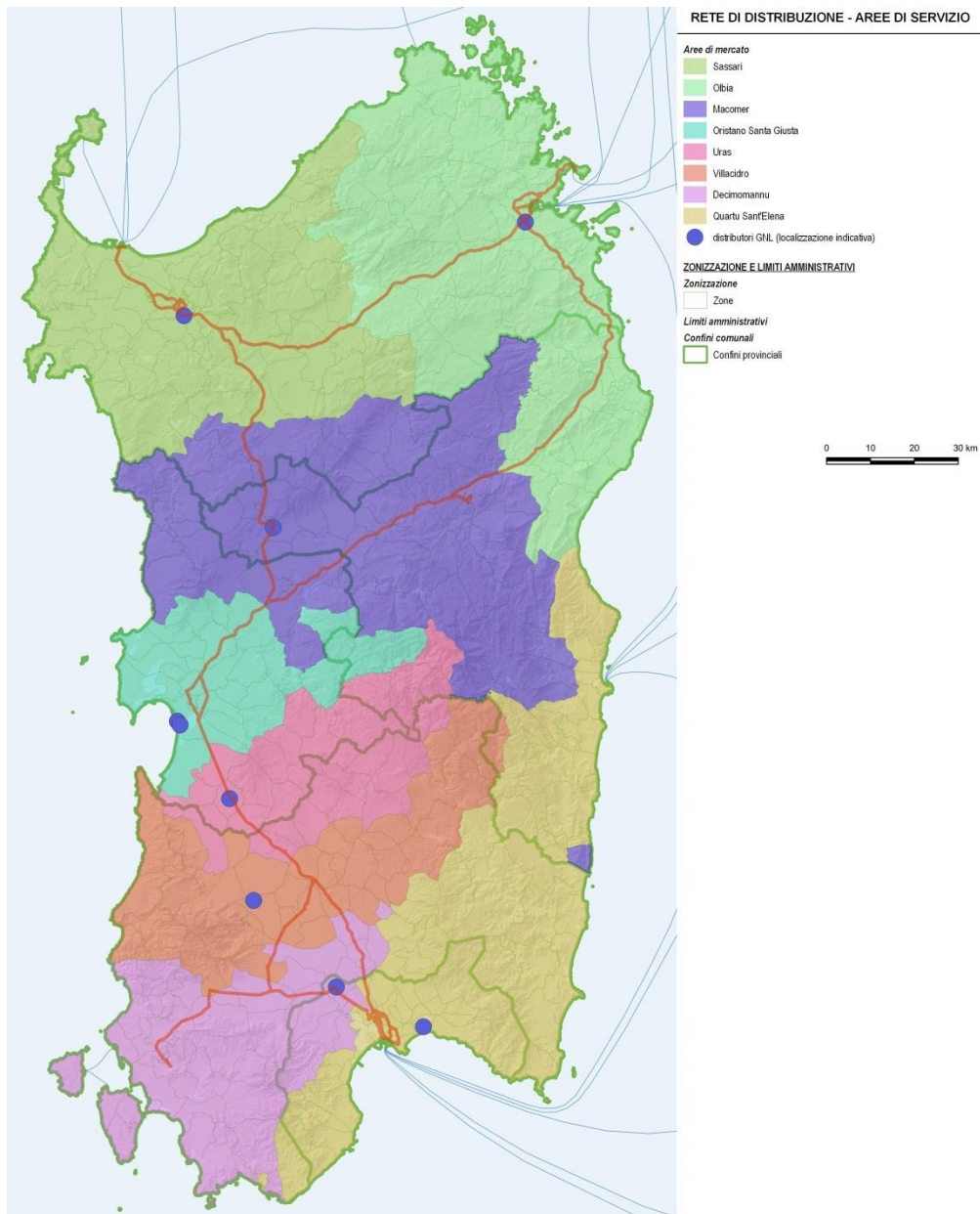
Le scénario résultant est donc composé de 9 éléments, dont 4 sont déjà planifiés et 5 issus du montage théorique, qui ensemble devraient permettre de garantir la couverture du service sur l'ensemble du territoire régional (Figure 166). Dans cette configuration, les stations d'Oristano, Uras et Villacidro sont pénalisées par la forte proximité mutuelle, avec des zones de marché toujours inférieures à 30 mvkm lourds/an (Tableau 46).

N	Emplacement présumé	Lourd Mvkm/an
1	Sassari	43,4
2	Olbia	43,3
3	Macomer	45,9
4-5	Oristano (S.Giusta)	28,3
6	Uras	26,0
7	Villacidro	25,3
8	Decimomannu	35,8
9	Quartu Sant'Elena	46,0
<b>TOT</b>		<b>294,0</b>

Source: traitement META

Tableau 50 - Emplacement hypothétique des stations-service avec vente de GNL automobile - solution pratique





*Traitement META*

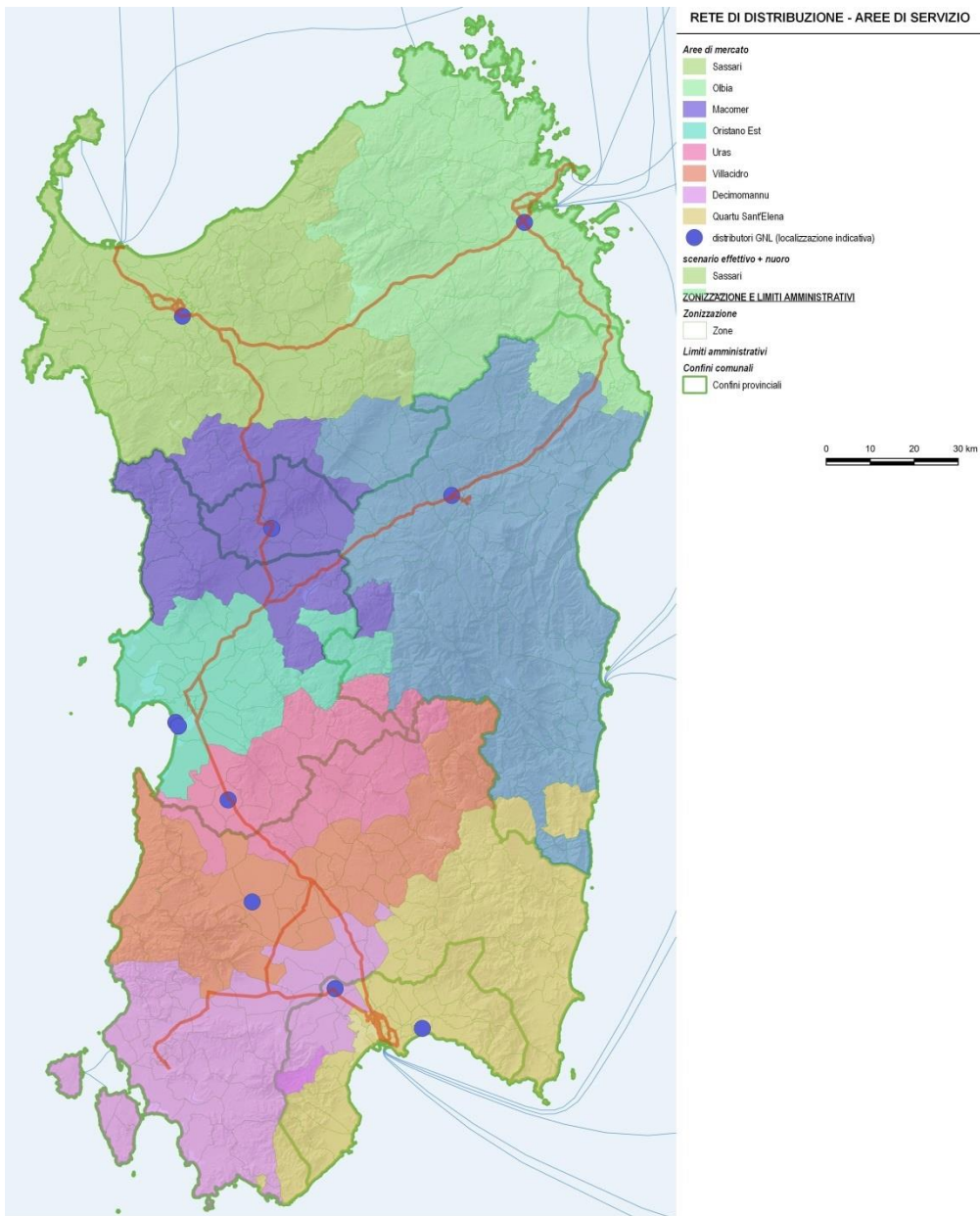
Figure 166 - Emplacement hypothétique des stations-service GNL - solution pratique

Des stations supplémentaires sont envisageables afin de réduire les distances moyennes de la station la plus proche. En particulier, un point de ravitaillement supplémentaire à Nuoro pourrait permettre de renforcer le réseau dans le secteur nord-est de l'île. Dans cette dernière hypothèse, on observe une réduction des zones de marché d'Olbia (33,8 Mvkm lourds/an) et de Macomer (28,8), et dans une moindre mesure de Quartu Sant'Elena (42,6) (Tableau 51 et Figure 167).

N	Emplacement présumé	Lourd Mvkm/an
1	Sassari	43,4
2	Olbia	33,8
3	Nuoro	30,0
4	Macomer	28,8
5-6	Oristano (S.Giusta)	28,3
7	Uras	25,9
8	Villacidro	25,3
9	Decimomannu	35,9
10	Quartu Sant'Elena	42,6
<b>TOT</b>		<b>294,0</b>

Source: traitement META

Tableau 51 - Emplacement hypothétique des stations-service avec vente de GNL automobile - scénario pratique modifié



Traitement META

Figure 167 - Hypothèses concernant l'emplacement des stations-service GNL - scénario pratique modifié

## NOMBRE ESTIMÉ DE VOYAGES/AN

L'ensemble des sites supposés ici définit un ensemble de 76 points de réseau à approvisionner en GNL et qui, selon le scénario de base, sont estimés exprimer une demande totale de 63 mille tonnes de GNL en 2030. Parmi ceux-ci, près de la moitié est imputable aux stations-service pour véhicules à moteur, un tiers est imputable aux industries *hors réseau*, tandis que le reste se répartit entre les 43 points des réseaux de distribution isolés et 4 points supplémentaires relatifs aux quais portuaires utilisés pour le soutage *camion-navire* (Tableau 52).

Dans le cas des stations-service, le "scénario pratique" à 9 points a été pris comme référence, et la demande annuelle de GNL de chaque point a été estimée en distribuant le total annuel régional au prorata du kilométrage associé à chaque station-service.

La valeur de 27 000 tonnes/an mentionnée pour les distributeurs de GNL/GNC comprend à la fois la demande de véhicules lourds alimentés au GNL et la demande de véhicules lourds et légers alimentés au GNL regazéifié (GNL-GNC) provenant des dépôts satellites de GNL des distributeurs considérés.

Par conséquent, la demande totale de GNL est de 63 kt.

PUNTI RETE PER PROVINCIA AL 2030						
	SS	OR	NU	SU	CA	TOT
industrie off-grid	4	4	0	4	8	<b>20</b>
reti distribuzione isolate	15	2	22	3	1	<b>43</b>
distributori GNL/GNC	3	3	1	1	1	<b>9</b>
Porti con banchine utilizzate per Bunkeraggio Truck-to-Ship	2	1	0	0	1	<b>4</b>
<b>Totale Sardegna</b>	<b>24</b>	<b>10</b>	<b>23</b>	<b>8</b>	<b>11</b>	<b>76</b>

DOMANDA DI GNL al 2030 (t/anno)						
	SS	OR	NU	SU	CA	TOT
industrie off-grid	2.186	3.319	-	8.282	6.185	<b>19.973</b>
reti distribuzione isolate	6.525	188	4.125	563	600	<b>12.000</b>
distributori GNL/GNC	7.962	4.987	4.215	2.323	7.512	<b>27.000</b>
Porti con banchine utilizzate per Bunkeraggio Truck-to-Ship	1.000	500	-	-	2.500	<b>4.000</b>
<b>Totale Sardegna</b>	<b>17.673</b>	<b>8.994</b>	<b>8.340</b>	<b>11.168</b>	<b>16.797</b>	<b>62.973</b>

Source: traitement META

Tableau 52 - Points du réseau et demande annuelle de GNL - scénario de base

En supposant un débit de 20 tonnes par camion-citerne, cela donne un total d'environ 3 150 voyages par an, sans compter les retours à vide.

Dans le cas d'un système de distribution SOMD (*Single Origin - Multiple Destination*) avec un point d'origine dans le port d'Oristano, l'ensemble des emplacements supposés ici correspond à un vecteur 1 x 76.

En supposant plutôt 5 localités d'origine distinctes (Oristano, Porto Torres, Olbia, Cagliari, Porto Vesme), on obtient une matrice 5 x 76. Dans ce cas, il est possible de supposer que chaque réseau de points est desservi par la localité d'origine reliée par la route de moindre risque, avec une réduction du coût social lié à la circulation des citernes cryogéniques le long du réseau routier sarde. Toutefois, cette réduction devra être mise en balance avec les coûts et les risques liés à la construction de multiples installations de déchargement.

### 3.18 Sécurité

L'introduction du GNL en Sardaigne implique quelques problèmes liés à la configuration du réseau de distribution et aux modalités de son approvisionnement, qui devrait être effectué au moyen de camions-citernes cryogéniques, qui se déplacent des ports de déchargement du gaz aux différents points du réseau.

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

A cette fin, il convient d'effectuer une étude ciblée des **itinéraires à risque minimal** entre les points de chargement et de déchargement des produits.

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

$$\text{Coefficient de risque} = \text{probabilité de perte} \times \text{perte potentielle}$$

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

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



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

Où:

$R_{ij}$	Risque accumulé sur l'itinéraire [€/an].	
$R_k$	Risque total associé au transit sur le $k$ -ième arc du graphique [€/an].	
$p_k$	Probabilité d'occurrence d'un accident de la route sur l'arc $k$ [véhicules impliqués/arc/an].	PROBABILITÉ CUMULÉ DE EVENEMENTS ADVERSIES
$p_{k,s}$	Probabilité d'un accident de la route sur l'arc $k$ impliquant un véhicule transportant la substance $s$	
$p_{k,s,e}$	Probabilité qu'un accident de la route sur l'arc $k$ , impliquant un véhicule transportant une substance $s$ , entraîne un événement indésirable de type $e$ .	
$F_{k,m}$	Facteur de présence des récepteurs $m$ le long de l'arc $k$	DANNO ASSOCIÉ A CHAQUE ÉVÉNEMENT AVERSO
$E_{k,s,j,m}$	Facteur d'exposition du récepteur $m$ le long de l'arc $k$ à l'événement indésirable $e$ impliquant la substance $s$	
$S_m$	Sensibilité des récepteurs $m$	
$C_{k,s,e,m}$	Capacité de résilience/récupération des récepteurs $m$	

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

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

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

Comme prévu partiellement dans le rapport T3.4, en première approximation, la construction du coefficient de risque sur chaque arc a été obtenue au moyen de deux ensembles distincts de données statistiques, attribuables respectivement:

- en ce qui concerne la probabilité cumulée d'événements indésirables, aux niveaux d'accidents constatés sur le réseau routier sarde, comme cela est mieux précisé au chapitre 3.18.1
- en ce qui concerne les dommages potentiellement associés à chaque événement indésirable, la présence, la susceptibilité et la résilience des sujets potentiellement exposés, identifiés comme les automobilistes en transit, les personnes vivant autour de la route et les zones sensibles du point de vue naturaliste, comme mieux spécifié au chapitre 3.18.6.

En revanche, aucune analyse approfondie n'a été menée à ce jour sur le type d'accident lié à la circulation des navires cryogéniques.

### **3.18.1 Analyse des accidents sur le réseau routier de la Sardaigne**

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

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

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

### **3.18.2 Acquisition de données sur les accidents**

Les données sur les accidents de la route sur lesquelles repose la présente méthodologie proviennent de la base de données ISTAT. Les données, recueillies par l'institut de statistique au moyen d'enquêtes mensuelles sur l'ensemble du territoire national, prennent en compte les accidents qui ont causé des blessures aux personnes impliquées (blessées

ou décédées dans le trentième jour suivant l'accident). Par conséquent, les accidents pour lesquels seuls des dommages matériels ont été enregistrés ne sont pas pris en compte<sup>42</sup>.

L'intervalle de temps choisi est la dernière période de cinq ans disponible (2014-2018). Le choix de cet intervalle de temps a été dicté par la nécessité de disposer d'une base de données suffisamment importante pour être statistiquement pertinente.

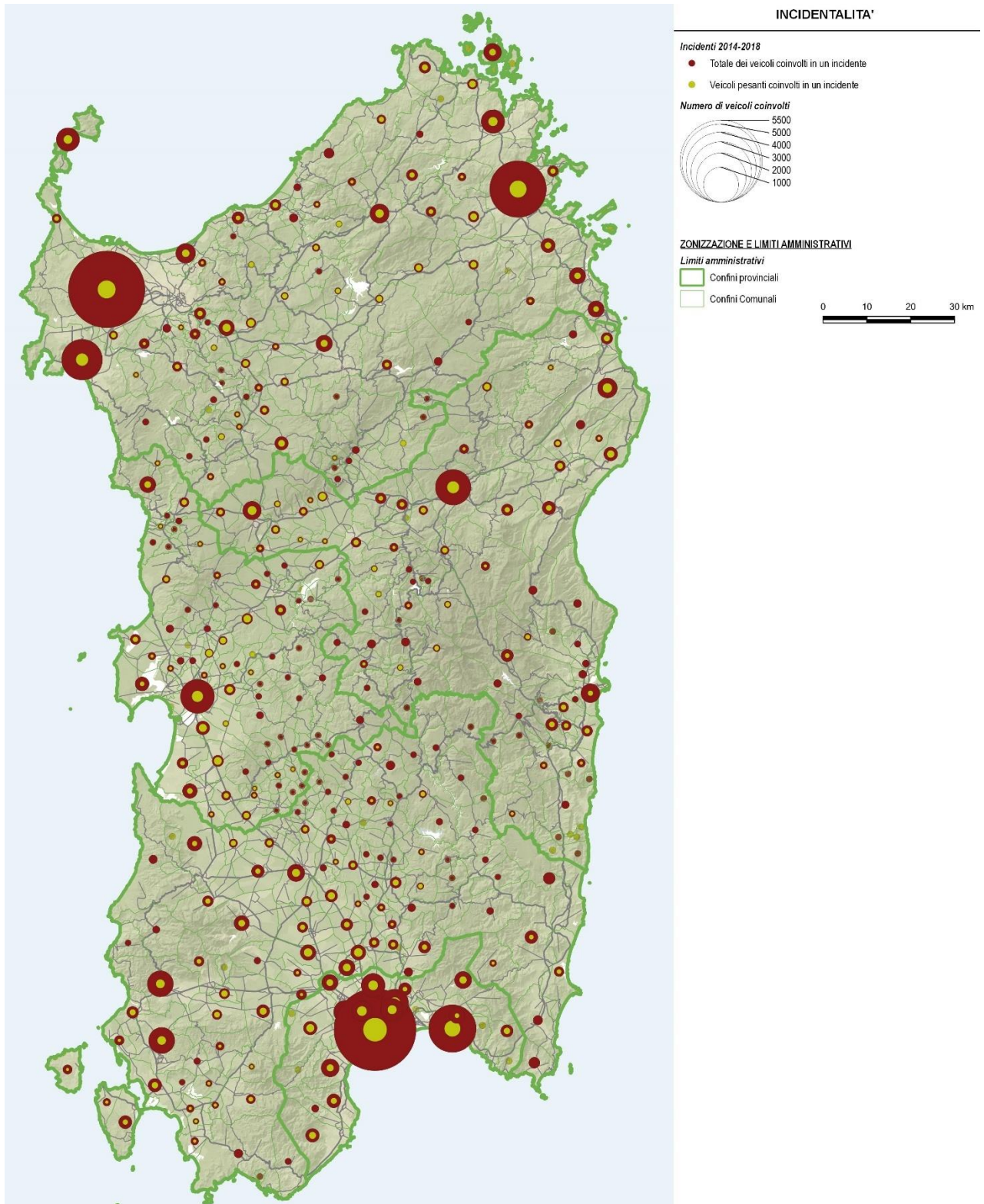
L'analyse des accidents pour le calcul du coefficient de risque a été élaborée en tenant compte des accidents qui se sont produits sur les routes nationales de la région de la Sardaigne. En particulier, la localisation de l'accident sur le réseau a été déterminée en croisant les données concernant le code communal et celles relatives à l'abréviation de la route nationale.

Ce choix a été dicté, d'une part, par la configuration particulière du réseau d'infrastructure régional, compte tenu notamment du fait que la mobilité des véhicules lourds, à l'exclusion du "dernier kilomètre", s'effectue principalement sur ce type de route, et d'autre part, par la qualité même des données ISTAT. En effet, les informations sur la localisation de l'accident individuel ne sont pas diffusées sous forme de coordonnées géographiques mais peuvent être reconstituées en croisant les données suivantes: le code communal, le type de route (domaniale, urbaine, suburbaine, etc.), le sigle de la route (dont seule la partie numérique est reportée), le kilométrage progressif s'il est présent et la toponymie (cette dernière information n'est diffusée que jusqu'à l'année 2016 incluse).

A l'appui de ce choix, une analyse préliminaire a été réalisée, qui donne une image des accidents survenus au cours des cinq années considérées. Sur un total de 17 423 accidents sur l'ensemble du réseau du territoire régional au cours de la période considérée, 1 366 accidents se sont produits avec l'implication d'un véhicule lourd (la base de données ISTAT ne donne pas de détails sur les sous-catégories de véhicules lourds), soit un pourcentage de 7,8%. Parmi ces accidents, 776 se sont produits sur des routes dont le code est signalé dans la base de données (elles peuvent donc être localisées) et, en particulier, 523 accidents se sont produits sur des routes nationales. Il est donc juste de penser que la seule étude des routes nationales peut être considérée comme un bon compromis en ce qui concerne le risque d'accident, surtout si elle vise à analyser le risque lié aux poids lourds, sans être trop onéreuse en termes de temps ou de coût (Figure 168).

---

<sup>42</sup> Rappelons qu'un accident de la route est "un événement survenu dans des rues ou places ouvertes à la circulation, dans lequel sont impliqués des véhicules (ou des animaux) à l'arrêt ou en mouvement et qui entraîne des dommages corporels". ISTAT, Aspects méthodologiques de l'enquête. Enquête sur les accidents de la route avec dommages corporels.



Traitement META

Figure 168 - Localisation des accidents sur une base municipale (2014-2018)



### 3.18.3 Encodage des routes sur le graphique

Une opération préliminaire fondamentale pour une localisation correcte des accidents sur le réseau des routes nationales en Sardaigne a consisté à identifier toutes les routes d'intérêt et à établir par la suite un registre de référence. Ensuite, chacune de ces routes a été codée sur le graphique routier utilisé par le modèle, ce qui a permis de comparer les flux, dérivés des simulations, avec les données d'accidents, dérivées de l'analyse des données ISTAT<sup>43</sup> (Figure 169 et Tableau 53).

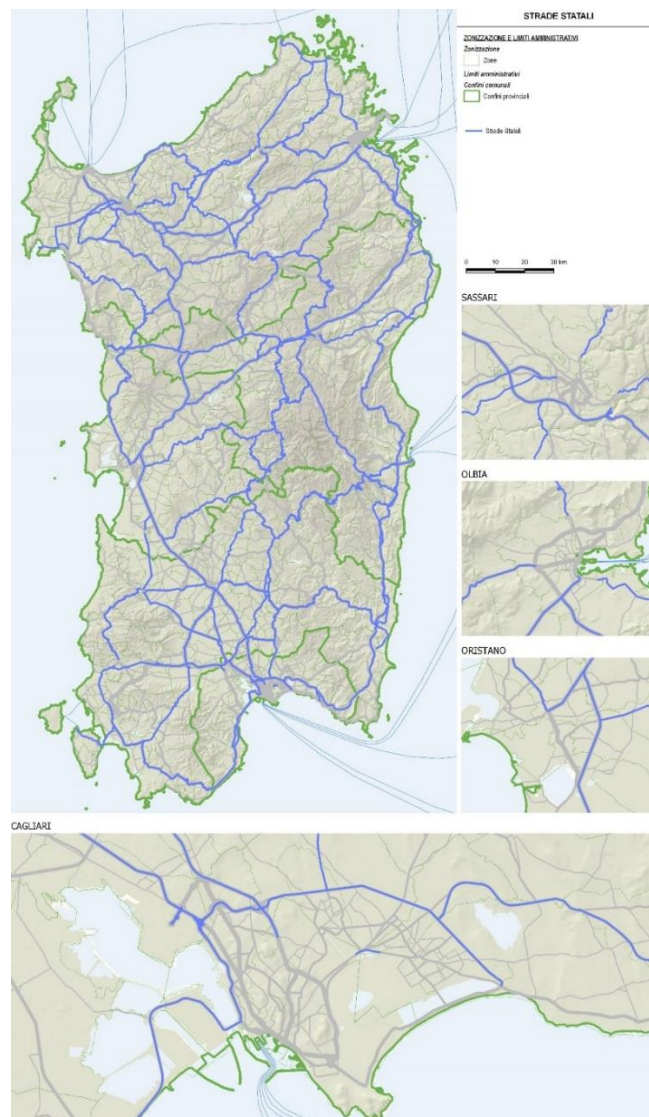


Figure 169 - Répartition du kilométrage des véhicules lourds

<sup>43</sup> La principale source utilisée pour le codage des routes nationales est le graphique routier de l'ANAS, se référant à 2015 et disponible sur <http://dati.mit.gov.it/catalog/dataset/grafico-stradale-anas>.



COD	NOME STRADA	Veicoli*km/anno		
		Leggeri	Pesanti	Totali
NSA167	DI ITTIRI	1.935.844	-	1.935.844
SS125	ORIENTALE SARDA	169.694.581	1.198.726	170.893.307
SS127	SETTENTRIONALE SARDA	184.238.463	3.037.067	187.275.531
SS127bis	SETTENTRIONALE SARDA	12.939.580	43.979	12.983.559
SS128bis	CENTRALE SARDA	71.384.879	243.678	71.628.557
SS129	TRASVERSALE SARDA	4.197.357	1.147.850	5.345.208
SS131	CARLO FELICE	627.158.889	45.350.242	672.509.131
SS131bis	CARLO FELICE	27.046.980	-	27.046.980
SS131dir-centr	NUORESE	200.048.594	-	200.048.594
SS132	DI OZIERI	24.439.667	-	24.439.667
SS133	DI PALAU	43.864.502	93.408	43.957.911
SS133bis	DI PALAU	22.170.798	-	22.170.798
SS134	DI CASTEL SARDO	166.972	-	166.972
SS199	DI MONTI	52.203	-	52.203
SS200	DELL'ANGLONA	76.300.946	493.671	76.794.617
SS291	DELLA NURRA	42.531.527	576.092	43.107.619
SS291var	DELLA NURRA	8.894.300	-	8.894.300
SS292	NORD OCCIDENTALE SARDA	19.346.555	1.108.068	20.454.624
SS292dir	NORD OCCIDENTALE SARDA	6.801.951	-	6.801.951
SS389	DI BUDDUSO' E DEL CORREBOI	9.104.141	112.446	9.216.588
SS389dir-a	DI BUDDUSO' E DEL CORREBOI	4.590.940	-	4.590.940
SS392	DEL LAGO DEL COGHINAS	15.979.772	-	15.979.772
SS427	DELLA GALLURA CENTRALE	30.899.131	135.042	31.034.173
SS597	DI LOGUDORO	143.839.833	11.834.395	155.674.228
SS672	SASSARI - TEMPIO	59.924.210	2.657.636	62.581.846
SS729	SASSARI - OLBIA	114.514.178	7.505.514	122.019.693
<b>PROVINCIA DI SASSARI</b>		<b>1.924.435.160</b>	<b>73.169.452</b>	<b>1.997.604.612</b>
SS126	SUD OCCIDENTALE SARDA	27.575.969	658.866	28.234.835
SS128	CENTRALE SARDA	3.528.637	22.814	3.551.451
SS129bis	TRASVERSALE SARDA	26.068.397	9.899	26.078.296
SS131	CARLO FELICE	570.242.655	45.350.242	615.592.898
SS131dir-centr	NUORESE	90.393.150	-	90.393.150
SS292	NORD OCCIDENTALE SARDA	146.619.486	1.108.068	147.727.554
SS388	DEL TIRSO E DEL MANDROLISAI	65.737.550	94.637	65.832.187
SS442	DI LACONI E DI URAS	25.795.690	-	25.795.690
<b>PROVINCIA DI ORISTANO</b>		<b>941.475.624</b>	<b>61.730.437</b>	<b>1.003.206.061</b>
SS125	ORIENTALE SARDA	120.964.313	1.198.726	122.163.039
SS125var	NUOVA SS125	9.790.218	-	9.790.218
SS128	CENTRALE SARDA	93.421.942	22.814	93.444.757
SS129	TRASVERSALE SARDA	169.516.458	1.147.850	170.664.308
SS129bis	TRASVERSALE SARDA	24.559.468	9.899	24.569.367
SS131	CARLO FELICE	110.894.984	45.350.242	156.245.226
SS131dir-centr	NUORESE	836.306.216	-	836.306.216
SS198	DI SEUI E LANUSEI	94.778.132	233.333	95.011.466
SS295	DI ARITZO	18.782.426	25.972	18.808.399
SS388	DEL TIRSO E DEL MANDROLISAI	13.964.200	94.637	14.059.057
SS389	DI BUDDUSO' E DEL CORREBOI	33.677.882	112.446	33.790.329
SS389dir-b	DI BUDDUSO' E DEL CORREBOI	16.639.481	-	16.639.481
SS389var	DI BUDDUSO' E DEL CORREBOI	107.212.133	-	107.212.133
SS390	DI BARI SARDO	2.937.001	89.285	3.026.286
<b>PROVINCIA DI NUORO</b>		<b>1.678.824.429</b>	<b>22.905.850</b>	<b>1.701.730.280</b>
SS125	ORIENTALE SARDA	6.675.037	1.198.726	7.873.763
SS125var	NUOVA SS125	165.893.041	-	165.893.041
SS126	SUD OCCIDENTALE SARDA	212.614.257	658.866	213.273.123
SS126dir	SUD OCCIDENTALE SARDA	44.650.608	-	44.650.608
SS128	CENTRALE SARDA	162.785.858	22.814	162.808.672
SS130	IGLESIENTE	240.813.392	8.618.031	249.431.423
SS130dir	IGLESIENTE	17.390.671	-	17.390.671
SS131	CARLO FELICE	552.615.519	45.350.242	597.965.762
SS195	SULCITANA	132.569.703	283.295	132.852.998
SS196	DI VILLACIDRO	114.240.839	6.390.725	120.631.564
SS196dir	DI VILLACIDRO	29.301.087	-	29.301.087
SS197	DI SAN GAVINO E DEL FLUMINI	186.437.843	971.903	187.409.746
SS198	DI SEUI E LANUSEI	26.636.137	233.333	26.869.470
SS293	DI GIBA	96.702.279	1.343.987	98.046.266
SS387	DEL GERREI	119.145.136	260.938	119.406.074
SS466	DI SIBIOLA	38.608.397	744.825	39.353.222
SS547	DI GUASILA	33.920.031	494.553	34.414.584
<b>PROVINCIA DI SUD SARDEGNA</b>		<b>2.179.059.404</b>	<b>68.512.668</b>	<b>2.247.572.073</b>
SS125var	NUOVA SS125	133.203.574	-	133.203.574
SS130	IGLESIENTE	204.384.144	8.618.031	213.002.175
SS130dir	IGLESIENTE	5.184.145	-	5.184.145
SS131	CARLO FELICE	123.812.617	45.350.242	169.162.860
SS131dir	CARLO FELICE	110.940.850	1.942.329	112.883.179
SS195	SULCITANA	295.750.982	283.295	296.034.277
SS195racc	VIA S. PAOLO	58.438.967	-	58.438.967
SS196	DI VILLACIDRO	9.113.699	6.390.725	15.504.423
SS387	DEL GERREI	66.896.433	260.938	67.157.370
SS391	DI ELMAS	-	7.627	7.627
SS554	CAGLIARITANA	277.121.318	6.568.200	283.689.518
<b>CITTA' METROPOLITANA DI CAGLIARI</b>		<b>1.321.905.452</b>	<b>32.362.662</b>	<b>1.354.268.114</b>
<b>TOTALE</b>		<b>8.045.700.070</b>	<b>258.681.070</b>	<b>8.304.381.140</b>

Source: traitement META

Tableau 53 - Voyages par la route

Grâce à cette élaboration, il est également possible de faire une première évaluation du rôle assumé par le réseau des routes nationales sur le territoire régional. En particulier, 56% du kilométrage simulé est concentré sur ces routes, qui atteignent 83% pour les seuls véhicules lourds (Tableau 54).

CONCENTRAZIONE DEI FLUSSI SULLA RETE DELLE STRADE STATALI						
	leggeri		pesanti		totale	
	mvkm/giorno	%	mvkm/giorno	%	mveqkm/giorno	%
Strade statali	12,83	53%	0,84	83%	14,5	56%
Resto rete	11,21	47%	0,17	17%	11,6	44%
<b>TOTALE</b>	<b>24,04</b>	<b>100%</b>	<b>1,02</b>	<b>100%</b>	<b>26,1</b>	<b>100%</b>

Source: traitement META

Tableau 54 - Concentration des flux sur le réseau des routes principales

### 3.18.4 Calcul du nombre de véhicules impliqués dans des accidents par an

Une fois les opérations préliminaires décrites ci-dessus effectuées, il est alors possible d'associer chaque accident unique survenu sur une route nationale (au moyen du code de la commune et de l'abréviation de la route nationale) à la portion de route nationale du graphique ayant le même code qui insiste sur ce territoire communal particulier et, par conséquent, d'obtenir le nombre de véhicules impliqués dans les accidents (données pouvant être extraites de la base de données ISTAT) sur ce tronçon particulier.

Les sections de route présentant le plus grand nombre d'accidents ont ensuite été identifiées, mettant en évidence 3 niveaux de service:

- route non étatique (dans notre cas, neutre car le taux d'accidents n'est pas déclaré)
- autoroute sans accident détecté au cours de la période de cinq ans 2014-2018
- Route nationale avec des accidents détectés au cours de la période quinquennale 2014-2018.

Les résultats obtenus sur l'ensemble du réseau sont présentés dans le Tableau 55, qui rapporte pour chaque route de l'État sarde les **taux d'accidents, de blessures et de mortalité**, obtenus en comparant le nombre d'accidents, de personnes impliquées (morts + blessés) et de personnes tuées, respectivement, au volume de trafic. Comme on peut l'observer, ces taux varient considérablement d'une route à l'autre, ce qui entraîne non rarement le cas d'artères à trafic limité, cependant caractérisées par un certain nombre d'accidents et donc, au final, par des taux d'accidents relativement élevés par rapport au reste du réseau.

COD	NOME STRADA	Veicoli*km/ANNO	n° incidenti per 100 Mvkm	persone coinvolte per 100 Mvkm	n° morti per 100 Mvkm
NSA167	DI ITTIRI	1.935.844	10,3	10,3	10,3
SS125	ORIENTALE SARDA	170.893.307	25,5	40,5	0,6
SS127	SETTENTRIONALE SARDA	187.275.531	12,6	22,0	0,3
SS127bis	SETTENTRIONALE SARDA	12.983.559	98,6	180,2	3,1
SS128bis	CENTRALE SARDA	71.628.557	7,0	11,4	0,8
SS129	TRASVERSALE SARDA	5.345.208	11,2	37,4	0,0
SS131	CARLO FELICE	672.509.131	10,4	16,7	0,1
SS131bis	CARLO FELICE	27.046.980	6,7	12,6	0,7
SS131dir-centr	NUORESE	200.048.594	7,2	11,0	0,3
SS132	DI OZIERI	24.439.667	4,1	7,4	0,0
SS133	DI PALAU	43.957.911	11,4	19,6	0,9
SS133bis	DI PALAU	22.170.798	8,1	10,8	0,9
SS134	DI CASTEL SARDO	166.972	239,6	359,3	0,0
SS199	DI MONTI	52.203	383,1	1149,3	0,0
SS200	DELL'ANGLONA	76.794.617	18,2	34,4	0,8
SS291	DELLA NURRA	43.107.619	35,3	58,0	1,4
SS291var	DELLA NURRA	8.894.300	6,7	20,2	4,5
SS292	NORD OCCIDENTALE SARDA	20.454.624	13,7	21,5	0,0
SS292dir	NORD OCCIDENTALE SARDA	6.801.951	8,8	11,8	0,0
SS389	DI BUDDUSO' E DEL CORREBOI	9.216.588	17,4	19,5	4,3
SS389dir-a	DI BUDDUSO' E DEL CORREBOI	4.590.940	13,1	17,4	0,0
SS392	DEL LAGO DEL COGHINAS	15.979.772	10,0	12,5	0,0
SS427	DELLA GALLURA CENTRALE	31.034.173	5,2	7,7	0,0
SS597	DI LOGUDORO	155.674.228	7,6	16,8	0,6
SS672	SASSARI - TEMPPIO	62.581.846	5,1	11,5	0,6
SS729	SASSARI - OLBIA	122.019.693	6,6	13,6	0,0
<b>PROVINCIA DI SASSARI</b>		<b>1.997.604.612</b>	<b>12,1</b>	<b>20,6</b>	<b>0,4</b>
SS126	SUD OCCIDENTALE SARDA	28.234.835	12,8	21,3	1,4
SS128	CENTRALE SARDA	3.551.451	33,8	50,7	5,6
SS129bis	TRASVERSALE SARDA	26.078.296	23,8	43,7	0,0
SS131	CARLO FELICE	615.592.898	3,8	6,3	0,3
SS131dir-centr	NUORESE	90.393.150	5,3	8,4	0,2
SS292	NORD OCCIDENTALE SARDA	147.727.554	8,0	13,0	0,1
SS388	DEL TIRSO E DEL MANDROLISAI	65.832.187	8,8	15,8	1,5
SS442	DI LACONI E DI URAS	25.795.690	7,8	12,4	0,8
<b>PROVINCIA DI ORISTANO</b>		<b>1.003.206.061</b>	<b>20,3</b>	<b>34,9</b>	<b>0,7</b>
SS125	ORIENTALE SARDA	122.163.039	27,0	41,1	2,0
SS125var	NUOVA SS125	9.790.218	22,5	32,7	2,0
SS128	CENTRALE SARDA	93.444.757	6,6	8,8	0,6
SS129	TRASVERSALE SARDA	170.664.308	13,2	25,7	1,6
SS129bis	TRASVERSALE SARDA	24.569.367	25,2	53,7	0,8
SS131	CARLO FELICE	156.245.226	5,0	9,5	0,0
SS131dir-centr	NUORESE	836.306.216	4,4	7,5	0,2
SS198	DI SEUI E LANUSEI	95.011.466	8,2	13,7	0,6
SS295	DI ARITZO	18.808.399	12,8	12,8	0,0
SS388	DEL TIRSO E DEL MANDROLISAI	14.059.057	10,0	12,8	1,4
SS389	DI BUDDUSO' E DEL CORREBOI	33.790.329	32,0	55,0	1,2
SS389dir-b	DI BUDDUSO' E DEL CORREBOI	16.639.481	4,8	6,0	0,0
SS389var	DI BUDDUSO' E DEL CORREBOI	107.212.133	2,6	5,6	0,6
SS390	DI BARI SARDO	3.026.286	138,8	231,3	0,0
<b>PROVINCIA DI NUORO</b>		<b>1.701.730.280</b>	<b>8,5</b>	<b>14,4</b>	<b>0,6</b>
SS125	ORIENTALE SARDA	7.873.763	63,5	78,7	2,5
SS125var	NUOVA SS125	165.893.041	3,7	6,3	0,1
SS126	SUD OCCIDENTALE SARDA	213.273.123	13,1	25,1	0,7
SS126dir	SUD OCCIDENTALE SARDA	44.650.608	2,7	9,4	0,0
SS128	CENTRALE SARDA	162.808.672	7,5	15,2	0,4
SS130	IGLESIENTE	249.431.423	7,6	11,8	0,6
SS130dir	IGLESIENTE	17.390.671	9,2	21,9	0,0
SS131	CARLO FELICE	597.965.762	5,3	8,9	0,2
SS195	SULCITANA	132.852.998	5,6	10,5	0,6
SS196	DI VILLACIDRO	120.631.564	12,9	24,7	2,0
SS196dir	DI VILLACIDRO	29.301.087	13,0	22,5	0,0
SS197	DI SAN GAVINO E DEL FLUMINI	187.409.746	7,0	13,4	0,5
SS198	DI SEUI E LANUSEI	26.869.470	8,9	11,2	0,0
SS293	DI GIBA	98.046.266	7,5	12,0	0,2
SS387	DEL GERREI	119.406.074	11,2	18,1	0,8
SS466	DI SIBIOLA	39.353.222	10,7	14,2	0,0
SS547	DI GUASILA	34.414.584	12,2	22,7	0,0
<b>PROVINCIA DI SUD SARDEGNA</b>		<b>2.247.572.073</b>	<b>7,9</b>	<b>13,8</b>	<b>0,5</b>
SS125var	NUOVA SS125	133.203.574	5,3	9,9	0,5
SS130	IGLESIENTE	213.002.175	14,7	29,1	0,3
SS130dir	IGLESIENTE	5.184.145	11,6	23,1	0,0
SS131	CARLO FELICE	169.162.860	9,6	16,2	0,5
SS131dir	CARLO FELICE	112.883.179	45,9	77,1	0,5
SS195	SULCITANA	296.034.277	14,7	23,9	0,7
SS195racc	VIA S. PAOLO	58.438.967	8,6	13,0	0,0
SS196	DI VILLACIDRO	15.504.423	7,7	16,8	0,0
SS387	DEL GERREI	67.157.370	8,0	16,4	0,9
SS391	DI ELMAS	7.627	13111,8	15734,2	0,0
SS554	CAGLIARITANA	283.689.518	14,3	23,5	0,6
<b>CITTA' METROPOLITANA DI CAGLIARI</b>		<b>1.354.268.114</b>	<b>13,0</b>	<b>22,9</b>	<b>0,8</b>
<b>TOTALE</b>		<b>8.304.381.140</b>	<b>10,0</b>	<b>17,1</b>	<b>0,5</b>

Source: traitement META

Tableau 55 - Taux d'accidents, de blessures et de mortalité sur le réseau routier - tous les accidents

Les mêmes taux peuvent également être déterminés en se référant uniquement aux accidents impliquant au moins un véhicule lourd, comme le montre le Tableau 56. Dans ce cas, une variabilité encore plus grande apparaît, caractérisée par des pics sur les embranchements de routes importantes, telles que la SS127bis et la SS129bis<sup>44</sup>, contre des valeurs minimales trouvées sur les routes les plus utilisées, telles que la SS131 "Carlo Felice".

COD	NOME STRADA	Pesanti*km / anno	n° incidenti per 100 Mvkm	persone coinvolte per 100 Mvkm	n° morti per 100 Mvkm
SS125	ORIENTALE SARDA	1.198.726	333,7	467,2	0,0
SS127	SETTENTRIONALE SARDA	3.037.067	92,2	138,3	0,0
SS127bis	SETTENTRIONALE SARDA	43.979	1364,3	1364,3	0,0
SS128bis	CENTRALE SARDA	243.678	82,1	164,2	82,1
SS131	CARLO FELICE	45.350.242	26,9	42,8	0,4
SS133	DI PALAU	93.408	642,3	1284,7	0,0
SS200	DELL'ANGLONA	493.671	283,6	567,2	0,0
SS291	DELLA NURRA	576.092	173,6	277,7	34,7
SS427	DELLA GALLURA CENTRALE	135.042	296,2	740,5	0,0
SS597	DI LOGUDORO	11.834.395	22,0	32,1	5,1
SS672	SASSARI - TEMPIO	2.657.636	45,2	82,8	0,0
SS729	SASSARI - OLBIA	7.505.514	8,0	18,7	0,0
<b>PROVINCIA DI SASSARI</b>		<b>73.169.452</b>	<b>37,7</b>	<b>60,4</b>	<b>1,6</b>
SS126	SUD OCCIDENTALE SARDA	658.866	91,1	121,4	0,0
SS129bis	TRASVERSALE SARDA	9.899	2020,4	4040,9	0,0
SS131	CARLO FELICE	59.858.967	11,0	18,7	1,0
SS292	NORD OCCIDENTALE SARDA/	1.108.068	90,2	234,6	0,0
SS388	DEL TIRSO E DEL MANDROL	94.637	1056,7	1268,0	211,3
<b>PROVINCIA DI ORISTANO</b>		<b>61.730.437</b>	<b>33,0</b>	<b>55,7</b>	<b>1,3</b>
SS125	ORIENTALE SARDA	1.198.689	166,8	283,6	16,7
SS128	CENTRALE SARDA	22.814	876,6	876,6	0,0
SS129	TRASVERSALE SARDA	1.147.850	209,1	365,9	17,4
SS129bis	TRASVERSALE SARDA	52.043	1537,2	3074,4	0,0
SS131	CARLO FELICE	20.023.418	6,0	10,0	0,0
SS198	DI SEUI E LANUSEI	233.333	257,1	514,3	0,0
SS295	DI ARITZO	25.972	770,0	770,0	0,0
SS389	DI BUDDUSO' E DEL CORREI	112.446	889,3	889,3	0,0
SS390	DI BARI SARDO	89.285	448,0	672,0	0,0
<b>PROVINCIA DI NUORO</b>		<b>22.905.850</b>	<b>38,4</b>	<b>62,9</b>	<b>1,7</b>
SS126	SUD OCCIDENTALE SARDA	2.933.297	75,0	129,5	6,8
SS128	CENTRALE SARDA	1.185.938	67,5	202,4	0,0
SS130	IGLESIENTE	8.618.031	27,8	44,1	2,3
SS131	CARLO FELICE	45.170.815	16,4	23,5	1,3
SS195	SULCITANA	283.295	141,2	211,8	0,0
SS196	DI VILLACIDRO	6.390.725	40,7	81,4	3,1
SS197	DI SAN GAVINO E DEL FLUM	971.903	102,9	288,1	0,0
SS198	DI SEUI E LANUSEI	114.361	174,9	174,9	0,0
SS293	DI GIBA	1.343.987	74,4	133,9	0,0
SS387	DEL GERREI	260.938	76,6	153,3	0,0
SS466	DI SIBIOLA	744.825	107,4	134,3	0,0
SS547	DI GUASILA	494.553	161,8	161,8	0,0
<b>PROVINCIA DI SUD SARDEGNA</b>		<b>68.512.668</b>	<b>28,9</b>	<b>48,8</b>	<b>1,8</b>
SS130	IGLESIENTE	4.597.605	100,1	152,3	0,0
SS131	CARLO FELICE	9.278.872	15,1	19,4	0,0
SS131dir	CARLO FELICE	1.942.329	72,1	154,5	0,0
SS195	SULCITANA	8.694.598	62,1	101,2	9,2
SS196	DI VILLACIDRO	581.011	34,4	68,8	0,0
SS387	DEL GERREI	692.421	57,8	57,8	0,0
SS391	DI ELMAS	7.627	2622,4	2622,4	0,0
SS554	CAGLIARITANA	6.568.200	103,5	194,9	0,0
<b>CITTA' METROPOLITANA DI CAGLIARI</b>		<b>32.362.662</b>	<b>61,2</b>	<b>103,2</b>	<b>3,7</b>
<b>TOTALE</b>		<b>258.681.070</b>	<b>33,2</b>	<b>55,1</b>	<b>1,7</b>

Source: traitement META

Tableau 56 - Taux d'accidents, de blessures et de mortalité sur le réseau routier - accidents impliquant des véhicules lourds

<sup>44</sup> En considérant ces valeurs, il faut toutefois tenir compte du fait que l'estimation du volume du trafic lourd se réfère uniquement aux mouvements effectués par les véhicules *commerciaux*, tandis qu'elle exclut ceux effectués par les véhicules d'exploitation (véhicules d'entretien des routes, véhicules de ramassage des ordures, etc.), qui ne peuvent pas être retracés dans la matrice origine/destination, mais qui, de toute façon, constituent vraisemblablement une composante importante du flux sur les artères à moindre trafic.

### 3.18.5 Calcul de la probabilité d'un sinistre pour la région de Sardaigne

La probabilité globale d'un accident impliquant un camion-citerne cryogénique a été calculée sur la base des statistiques d'accidents de la route des cinq dernières années, présentées dans les paragraphes précédents, en pondérant les données relatives aux événements impliquant des véhicules lourds avec celles relatives au nombre total d'accidents.

En particulier, pour chaque arc que nous avons considéré:

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

et les indices ont été déterminés:

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

se rapportant à une seule année<sup>45</sup>.

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

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

avec une première approximation de 0,1.

Cet indice représente la probabilité qu'un accident impliquant un camion-citerne cryogénique se produise, pour chaque 100 Mvkm de trafic généré par les camions-citernes, avec les réserves supplémentaires suivantes:

- a) en l'absence de données géoréférencées précises relatives à la localisation des événements accidentels uniques, le calcul a été effectué en supposant comme unité minimale de référence, pour les routes nationales, la combinaison entre le code administratif (par exemple SS131) et la municipalité dans laquelle l'accident s'est produit, tandis que pour le reste du réseau, il a été fait référence aux valeurs accidentelles résiduelles moyennes, enregistrées au niveau municipal, par rapport aux volumes de trafic simulés sur le reste du réseau;
- b) afin de compenser les situations (occasionnelles) caractérisées par une absence totale d'accidents - souvent associées à des artères et/ou à des districts territoriaux

---

<sup>45</sup> En d'autres termes, la valeur cumulée des accidents survenus au cours de la période de cinq ans 2014-2018 était liée à un volume de trafic égal à cinq fois la valeur annuelle moyenne résultant des simulations effectuées.



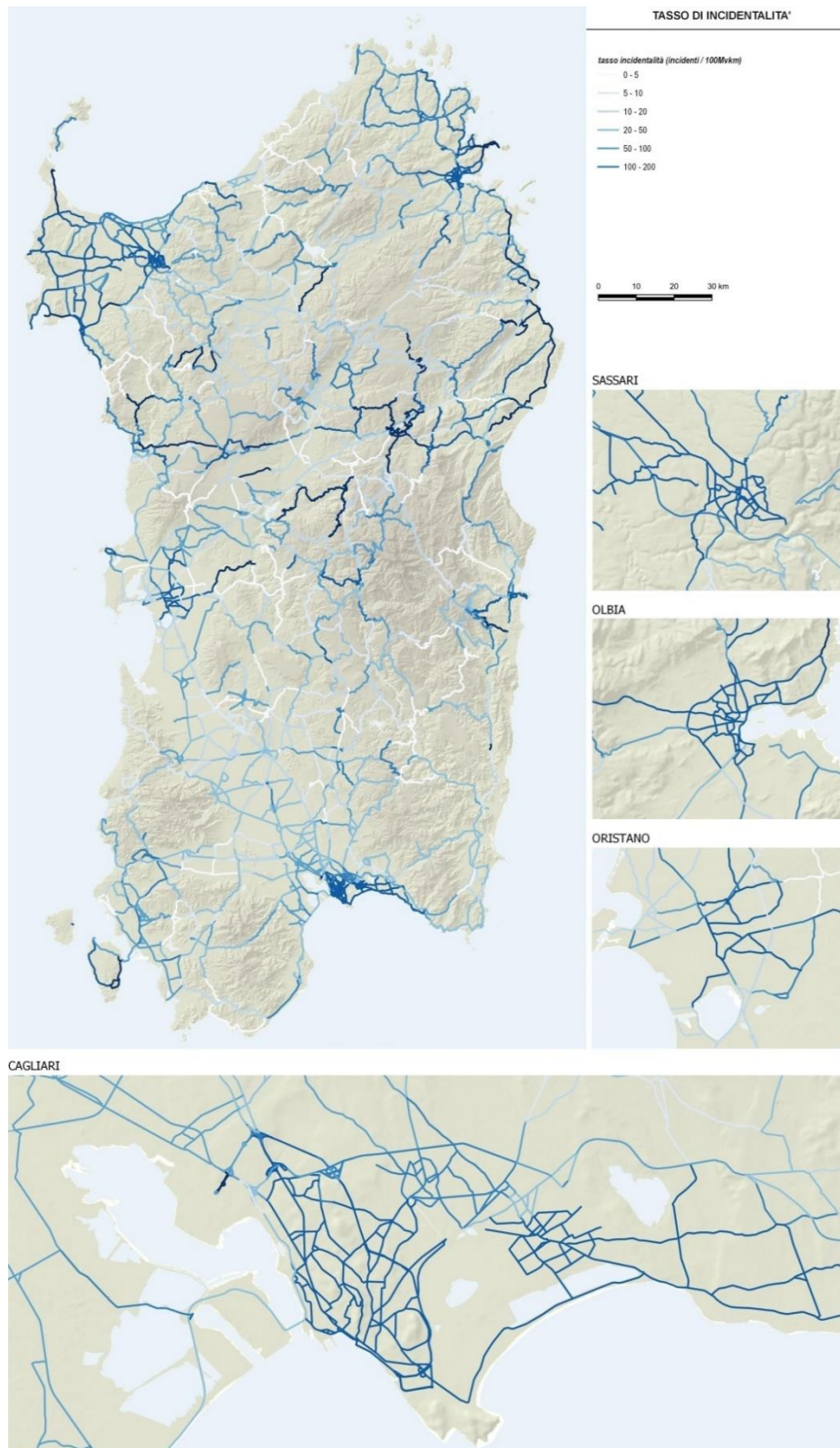
caractérisés par des niveaux de trafic très modestes, on a supposé un seuil de risque minimum égal au taux d'accident moyen de la province de référence sur le réseau local (excluant donc les routes nationales).

De la littérature scientifique sur le sujet, il ressort que l'estimation des dommages doit également être stratifiée en fonction de l'événement accidentel considéré: par exemple, une explosion a une certaine probabilité d'impliquer la population résidant à proximité, tandis qu'un renversement avec déversement de matériaux peut avoir un impact plus important sur les zones de valeur environnementale. En l'absence d'éléments spécifiques visant à répartir la probabilité d'un accident entre les différents types de risques possibles, nous avons opéré en première approximation sans introduire de distinction entre les différents événements.

Dans la Figure 170, l'indice ainsi calculé pour chaque arc est restitué sous forme cartographique.

Il en résulte une répartition des risques sur l'ensemble du territoire. Si, d'une part, les arcs routiers présentant un risque moyennement élevé sont concentrés près des principaux nœuds urbains et le long de certaines portions du littoral, d'autre part, les arcs les plus fréquentés, surtout la SS131, sont plutôt sûrs.

Cela est dû en grande partie aux normes de sécurité du système routier supra-municipal, qui semble pouvoir supporter facilement l'éventuelle charge supplémentaire de véhicules pour le ravitaillement en GNL. Il semble plutôt nécessaire d'analyser en détail le contexte d'origine-destination de ce que l'on appelle le dernier kilomètre, qui, longeant les arcs routiers dans des contextes urbains et/ou locaux, doit être défini avec une attention particulière.



Source: traitement META

Figure 170- Estimation de la probabilité d'un accident

### 3.18.6 Calcul de l'indicateur de dommages potentiels

Outre la prise en compte des taux d'accidents, c'est-à-dire de la probabilité d'occurrence d'un événement accidentel, la construction du coefficient de risque doit tenir compte des dommages possibles associés à l'événement: par exemple, c'est une chose d'avoir un accident dans un tunnel à forte circulation, c'en est une autre de l'avoir en rase campagne sur des routes à faible trafic; c'en est une autre d'avoir un accident dans une zone rurale, c'en est une autre dans une zone urbaine à forte densité de population.

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

- la présence d'un trafic léger, c'est-à-dire la possibilité qu'un événement accidentel touche des **personnes se trouvant dans d'autres véhicules en transit**
- la population vivant autour de l'axe routier, potentiellement exposée aux risques d'accidents
- des éléments supplémentaires liés à la **vulnérabilité environnementale** du contexte.

### 3.18.7 Personnes dans d'autres véhicules en transit

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

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

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

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

Bien entendu, cette approche permet de déterminer la probabilité moyenne journalière de passage d'un certain nombre de personnes lors d'un accident. Il est également possible de supposer, d'une part, que les mouvements de camions-citernes se produisent à des moments de la journée où le trafic est moins important et, d'autre part, que des systèmes d'alarme efficaces permettent de limiter la durée critique de l'événement aux seules phases

précédant le démarrage de ces systèmes, avec la possibilité conséquente de bloquer le trafic sur l'axe routier examiné.

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

### 3.18.8 Population exposée autour de l'axe routier

Chaque arc routier est entouré d'une certaine zone tampon définie de résidents et d'employés qui, en cas d'accident, pourraient être partiellement affectés par les effets de celui-ci.

Sans entrer dans les détails des cas individuels, on peut se référer à tous les accidents impliquant la libération de liquides et/ou de gaz qui, selon le cas, peuvent se répandre dans l'air sur une certaine distance autour du lieu de l'accident.

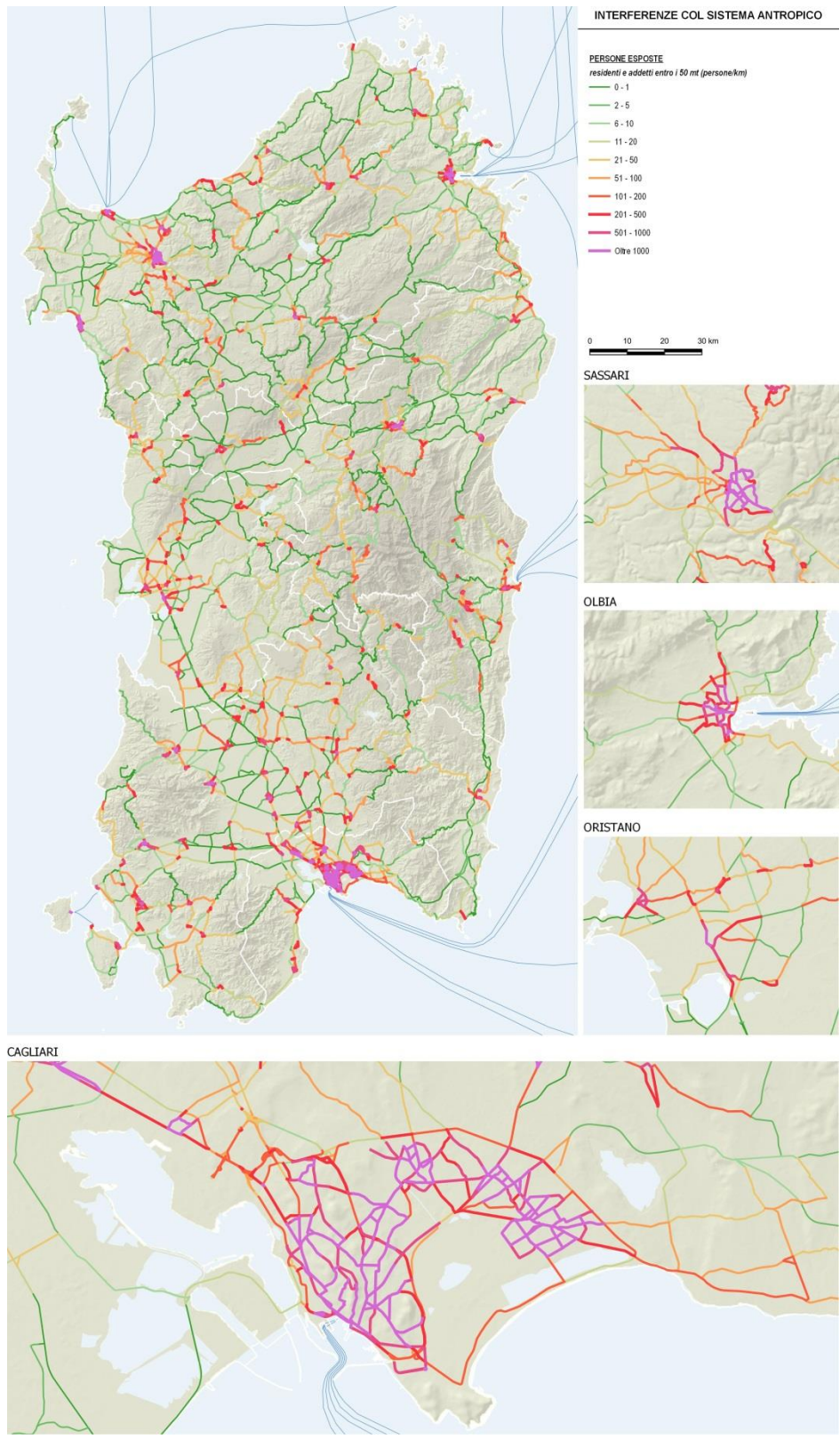
Par conséquent, un indicateur de la population exposée a été défini en se référant à la présence de résidents et d'employés (données ISTAT pour la section de recensement) dans un tampon de 50 mètres de l'arc routier considéré comme défini a priori comme une valeur de référence pour une simulation maximale.

Cela permet, comme défini par l'image suivante, de mettre en évidence les arcs routiers sur lesquels la population exposée est plus importante, qui, comme il est évident, se concentrent surtout dans les zones urbaines des principales villes sardes (Figure 171).

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

En effet, même si des valeurs supérieures à 100 personnes exposées dans des contextes extra-urbains ne sont pas enregistrées, il existe souvent des cas où, même pour de courts tronçons, l'axe routier constate la présence de plus de 500 personnes dans le *tampon* considéré comme référence.





Source: traitement META

Figure 171- Identification de la population exposée



### 3.18.9 Éléments de vulnérabilité environnementale

Outre l'exposition au risque des personnes, l'exposition au risque de l'environnement a également été prise en compte.

Pour ce faire, un facteur de vulnérabilité environnementale a été considéré, en considérant comme vulnérables les territoires traversés par des arcs routiers.

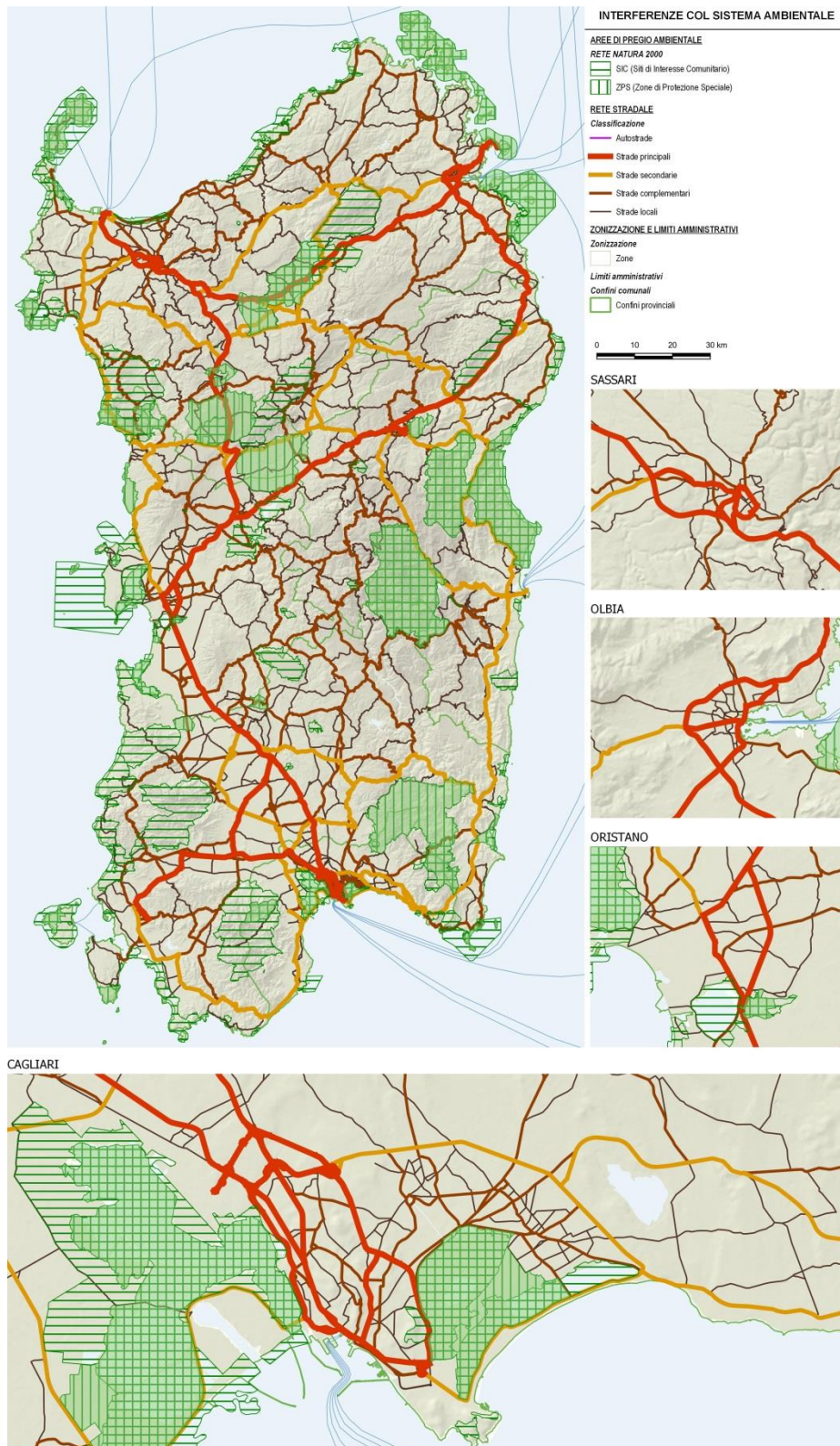
Cet indicateur suppose une cartographie des zones d'importance environnementale, où les effets des incidents de déversement de liquide et/ou de gaz pourraient affecter les caractéristiques naturelles des environs.

Sans préjudice de la possibilité de disposer de données plus détaillées, on a d'abord considéré les sites du réseau Natura2000 comme un système coordonné et cohérent (un réseau) de zones (sites d'importance communautaire SCI et zones de protection spéciale SPA) pour la conservation de la diversité biologique sur le territoire de l'Union européenne (Figure 172).

Comme on peut le voir sur l'image suivante, une grande partie des infrastructures extra-urbaines sont manifestement concentrées en dehors des zones naturelles. Toutefois, ce n'est pas le cas dans tous les cas, car il est possible de constater que certaines des routes principales traversent également des zones protégées d'importance communautaire.

C'est notamment le cas dans certains cas dans le quadrant nord du territoire régional où les liaisons à grande vitesse Sassari-Olbia, Nuoro-Olbia, Oristano-Sassari traversent des SIC et des ZPS respectivement définis.

Il convient également de noter que certaines zones sont touchées par la sortie des points d'origine du GNL dans le port d'Oristano.



Source: traitement META

Figure 172 - Identification de la vulnérabilité environnementale

### 3.18.10 Calcul de l'indicateur de dommages potentiels et résumé des résultats

Un résumé des résultats obtenus, en termes d'exposition au risque sur chaque autoroute, est présenté dans le Tableau 57.

Ces valeurs sont présentées sous une forme agrégée par province et unité administrative du réseau, mais sont en fait déterminées au niveau d'un seul arc routier, ce qui donne lieu à une "carte des dommages potentiels" en cas d'accident impliquant un camion-citerne cryogénique (Figure 173).

A cette fin, il faut tout d'abord estimer, à partir du nombre de personnes impliquées, le **nombre potentiel de blessures et de décès** suite à l'accident, sur la base des indicateurs de blessures et de létalité, calculés au niveau de l'arc unique à partir des données d'accident analysées au paragraphe 3.18.1.

Après avoir estimé les blessures et les décès, l'indicateur de dommages potentiels peut être calculé selon la formule suivante:

$$D_p = F_P * V_F + M_P * V_M + A P_P * V_{AP}$$

Où  $F_P$ ,  $M_P$ ,  $A P_P$  correspondent au nombre de blessés, de morts et à l'extension des zones de valeur environnementale (en hectares) potentiellement impliqués en cas d'accident, tandis que  $V_F$ ,  $V_M$  et  $V_{AP}$  correspondent à leurs valeurs économiques, estimées à partir de la littérature. En particulier, les valeurs suivantes peuvent être supposées pour l'Italie (Commission européenne 2019):

COD	NOME STRADA	flussi veicolari leggeri		interferenza siti Rete Natura 2000	popolazione esposta
		legg/km	giorno		
NSA167	DI ITTIRI		3.928		49
NSA319	DI BUDDUSO' E DEL CORREBOI		387	0	97
NSA325	SCALA RUIA - TEMPIO		21.781	0	3
SS125	ORIENTALE SARDA		137.729	0	3.386
SS127	SETTENTRIONALE SARDA		156.539	0	4.331
SS127bis	SETTENTRIONALE SARDA		3.379	0	311
SS128bis	CENTRALE SARDA		58.696	1	2.931
SS129	TRASVERSALE SARDA		108.725	0	0
SS131	CARLO FELICE		468.451	7	612
SS131bis	CARLO FELICE		72.508	0	131
SS131dir-centr	NUORESE		32.643	0	34
SS132	DI OZIERI		6.001	21	772
SS133	DI PALAU		52.417	0	613
SS133bis	DI PALAU		7.915	0	377
SS134	DI CASTEL SARDO		3.979	0	2.066
SS199	DI MONTI		38	0	166
SS200	DELL'ANGLONA		43.639	0	1.532
SS291	DELLA NURRA		32.184	0	67
SS291dir	DEL CALIK		2.878	1	24
SS291var	DELLA NURRA		84.398	0	221
SS291var-a	DELLA NURRA		44	0	5
SS292	NORD OCCIDENTALE SARDA		179.182	13	872
SS292dir	NORD OCCIDENTALE SARDA		117.013	0	600
SS389	DI BUDDUSO' E DEL CORREBOI		3.705	0	1.175
SS389dir-a	DI BUDDUSO' E DEL CORREBOI		1.005	0	124
SS392	DEL LAGO DEL COGHINAS		1.016	10	512
SS427	DELLA GALLURA CENTRALE		3.755	0	1.598
SS597	DI LOGUDORO		35.418	24	20
SS672	SASSARI - TEMPIO		31.725	0	0
SS726	SASSARI - OLBIA		84.348	18	127
<b>PROVINCIA DI SASSARI</b>			<b>1.756.028</b>	<b>96</b>	<b>22.755</b>
SS126	SUD OCCIDENTALE SARDA		52.587	0	1.363
SS128	CENTRALE SARDA		979	0	522
SS129bis	TRASVERSALE SARDA		10.615	0	589
SS131	CARLO FELICE		303.557	1	213
SS131dir-centr	NUORESE		76.064	1	135
SS292	NORD OCCIDENTALE SARDA		370.890	0	3.006
SS388	DEL TIRSO E DEL MANDROLISAI		42.054	0	1.714
SS442	DI LACONI E DI URAS		28.916	0	811
<b>PROVINCIA DI ORISTANO</b>			<b>885.661</b>	<b>2</b>	<b>8.352</b>
EX SS125	ORIENTALE SARDA		193.362	0	1.632
EX SS131	CARLO FELICE		4.600	0	108
EX SS389	DI BUDDUSO' E DEL CORREBOI		108.854	0	580
SS125	ORIENTALE SARDA		225.238	5	4.068
SS125dir	ORIENTALE SARDA		47.735	0	2.199
SS125var	NUOVA SS125		19.481	0	50
SS128	CENTRALE SARDA		34.490	0	4.537
SS128	TRASVERSALE SARDA		495.515	14	1.795
SS129bis	TRASVERSALE SARDA		52.929	0	261
SS131	CARLO FELICE		225.891	6	36
SS131dir-centr	NUORESE		287.857	2	295
SS195	DI SEUI E LANUSEI		60.889	0	2.975
SS295	DI ARITZO		75.609	0	1.566
SS388	DEL TIRSO E DEL MANDROLISAI		303.694	0	419
SS389	DI BUDDUSO' E DEL CORREBOI		671.341	0	628
SS389dir-b	DI BUDDUSO' E DEL CORREBOI		11.273	0	1.145
SS389var	DI BUDDUSO' E DEL CORREBOI		25.131	17	8
SS390	DI BARI SARDO		1.779	0	1.873
SS537	DI GHILARZA		117	0	482
<b>PROVINCIA DI NUORO</b>			<b>2.865.146</b>	<b>44</b>	<b>24.656</b>
EX SS125	ORIENTALE SARDA		145.332	3	1.937
EX SS128	CENTRALE SARDA		108.797	0	1.281
SS125	ORIENTALE SARDA		225.237	0	0
SS125var	NUOVA SS125		24.204	1	17
SS126	SUD OCCIDENTALE SARDA		774.418	10	3.593
SS126dir	SUD OCCIDENTALE SARDA		3.290	0	257
SS128	CENTRALE SARDA		1.276.624	0	1.814
SS130	IGLESIENTE		171.691	0	68
SS130dir	IGLESIENTE		435.932	0	1.078
SS131	CARLO FELICE		978.194	0	380
SS195	DI SEUI E LANUSEI		383.754	0	2.706
SS196	DI VILLACIDRO		324.700	0	555
SS196dir	DI VILLACIDRO		160.395	0	2.883
SS197	DI SAN GAVINO E DEL FLUMINI		208.336	0	1.772
SS198	DI SEUI E LANUSEI		7.159	1	645
SS293	DI GIBA		172.488	1	1.740
SS387	DEL GERREI		754.316	5	1.702
SS466	DI SIBIOLA		69.787	0	29
SS547	DI GUASILA		50.843	0	2.000
<b>PROVINCIA DI SUD SARDEGNA</b>			<b>6.285.496</b>	<b>21</b>	<b>24.476</b>
EX SS554	CAGLIARITANA		58.148	0	361
N SS128	CENTRALE SARDA		19.490	0	92
NSA371	EX S.S. N. 125 ORIENTALE SARD/		267.097	0	15
SS125var	NUOVA SS125		415.350	4	8
SS130	IGLESIENTE		1.494.256	0	1.566
SS130dir	IGLESIENTE		9.095	0	41
SS131	CARLO FELICE		1.436.800	0	293
SS131dir	CARLO FELICE		3.484.798	0	934
SS195	SULCITANA		304.597	8	2.029
SS195racc	VIA S. PAOLO		1.134.829	0	530
SS196	DI VILLACIDRO		4.128.716	0	44
SS387	DEL GERREI		346.094	0	84
SS391	DI ELMAS		0	0	368
SS554	CAGLIARITANA		2.641.317	0	3.053
<b>CITTA' METROPOLITANA DI CAGLIARI</b>			<b>15.740.587</b>	<b>12</b>	<b>9.418</b>
<b>TOTALE</b>			<b>27.532.918</b>	<b>174</b>	<b>89.658</b>

Source: traitement META

Tableau 57 - Exposition au risque accidentel par route

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

Ne distinguant pas les données ISTAT utilisées de la nature des blessures, seule la valeur de la blessure légère a été considérée dans la présente élaboration.

Par exemple, si la population actuelle est de 40 personnes, que la probabilité de décès et de blessure est de 10% et de 100% respectivement, et que la valeur de la vie humaine est de 3,2 millions d'euros et celle de la blessure de 40 000 euros, le dommage potentiel peut être déterminé comme suit:

$$D = 40 \times (0,10 \times 3.200.000 + 0,90 \times 40.000) = 40 \times (320.000 + 36.000) = 356.000 \text{ €}.$$

Et en supposant un indice d'accident total de 10 événements pour 100 Mvkm, le coefficient de risque devient:

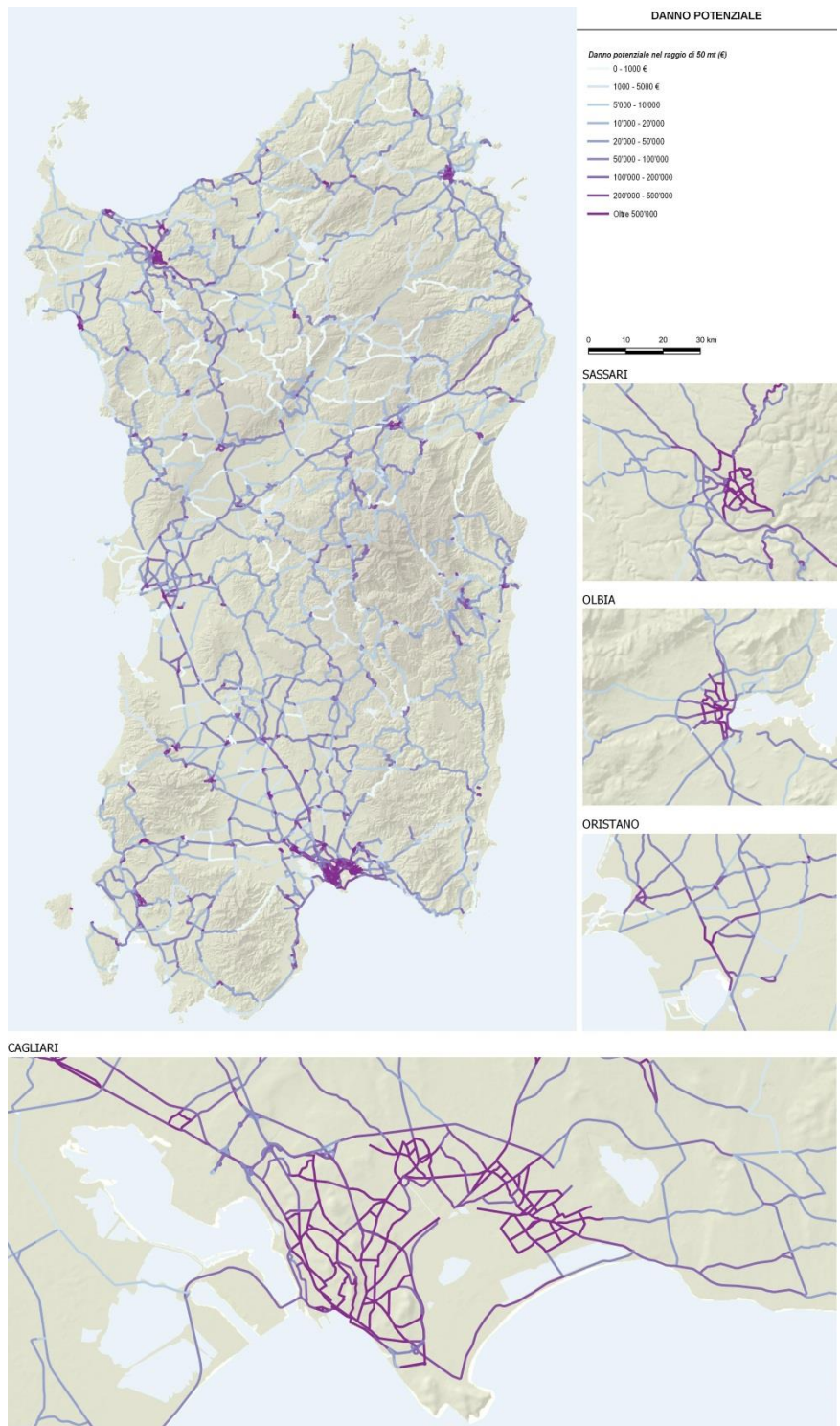
$$10 / 100 \text{ Mvkm} \times 356 \text{ 000 €} = 10 \times 0,36 / 100 \text{ €/vkm} = 0,036 \text{ €/vkm}$$

qui est un facteur de coût kilométrique utilisable en Assignation.

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

Après avoir déterminé ces valeurs au niveau d'un seul arc, il est possible de dresser une "carte des dommages potentiels" en cas d'accident impliquant un camion-citerne cryogénique (Figure 173). Cela met une nouvelle fois en évidence les centres urbains, où se concentre naturellement la population résidente et active, mais aussi le réseau routier principal, où les flux de véhicules sont plus importants. En revanche, les domaines de valeur environnementale apparaissent dans une moindre mesure, en raison de la forte asymétrie entre la valeur économique qui leur est associée et celle liée à la blessure ou au décès d'une personne.





Source: traitement META

Figure 173- Carte des dommages potentiels liés aux arcs routiers



### 3.19 Identification des routes à moindre risque

#### 3.19.1 Facteur de risque global

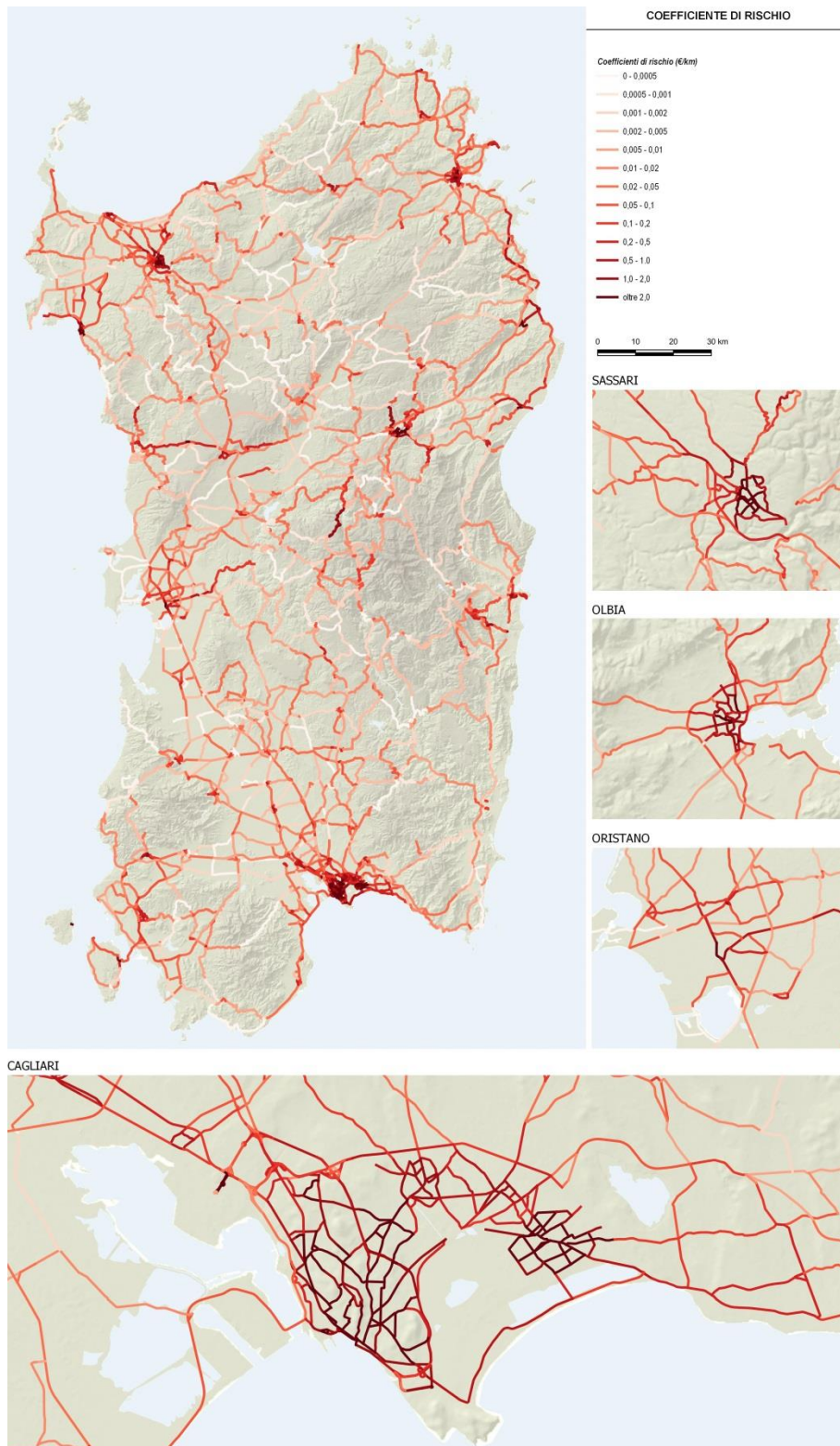
Après l'analyse des accidents (paragraphe 4), qui a permis d'estimer la probabilité d'un accident, et l'estimation des dommages potentiels (paragraphe 5), il est alors possible de calculer le coefficient de risque global, selon les méthodes décrites au paragraphe 3 et résumées dans la formule synthétique suivante

$$\text{Coefficient de risque} = \text{probabilité de perte} \times \text{perte potentielle}$$

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

La représentation cartographique du coefficient de risque (Figure 174), possible grâce au fait que les deux facteurs ont été calculés au niveau d'un seul arc, montre que les valeurs les plus élevées (>1 €/km) sont concentrées dans les zones urbaines, où tant la probabilité d'accident que les dommages potentiels sont élevés. À l'opposé, on trouve (quelques) groupes d'arcs caractérisés par des valeurs très faibles (<0,001 €/km), attribuables davantage à des dommages potentiels très faibles qu'à des valeurs de probabilité d'accident faibles.

Au milieu se trouve la majeure partie du réseau routier principal et secondaire de la région, avec des situations très différentes même en se référant à la même infrastructure routière (observez par exemple le Carlo Felice), sur la base des flux présents, du contexte traversé et de la qualité de l'infrastructure routière elle-même (et donc de la probabilité d'accident).



Source: traitement META

Figure 174 - Carte du coefficient de risque associé au transit d'un camion-citerne cryogénique

### 3.19.2 Minimisation des risques et itinéraires routiers

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

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

L'ensemble des arcs assignés renverra l'image des routes à risque minimum sur le réseau routier sarde, en relation avec la configuration proposée du réseau de distribution de GNL.

Par rapport à ce résultat, il convient toutefois de prendre en compte d'autres éléments, dont les deux suivants:

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

En plus de l'identification du chemin le moins coûteux, un deuxième résultat important est le **coût social cumulé** associé à ce chemin, selon la formulation suivante:

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

Où:

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

Cet indicateur le rend donc possible:

- comparer différents lieux d'origine (ports) afin d'identifier le lieu optimal pour desservir une destination spécifique (point de réseau);
- comparer différents arrangements de réseau. En fait, en additionnant tous les coûts sociaux de tous les itinéraires considérés dans une configuration particulière (par

exemple, l'utilisation du port A ou du port B), on obtient une estimation de son coût social global.

Dans les paragraphes suivants, deux hypothèses différentes seront analysées:

- la disponibilité d'un point d'entrée unique (modèle SOMD), identifié dans le port d'Oristano;
- la disponibilité de points d'entrée multiples (modèle MOMD).

### 3.19.3 Assignation au réseau: cas d'une source unique

Dans cette première hypothèse, les itinéraires les moins risqués à partir d'un point de départ unique sont identifiés. En particulier, le port de Santa Giusta à Oristano est utilisé.

La Figure 175 montre les routes sélectionnées sous forme cartographique, représentant par l'épaisseur de l'arc, le nombre de méthaniers associés.

Une fois sortis du port, les flux ont tendance à se répartir de manière similaire entre les directions nord et sud.

Les flux en direction du sud utilisent d'abord la route de Carlo Felice, puis la quittent à Sanluri, et continuent vers le sud par des routes moins urbanisées, et donc moins coûteuses socialement. Après Siliqua, les flux se répartissent entre l'est (Cagliari) et l'ouest (Porto Vesme), en continuant à privilégier le réseau local.

En ce qui concerne les flux en direction du nord, ils ont tendance à ne pas utiliser la Carlo Felice, qui passe près de la zone urbaine d'Oristano, et à préférer le réseau local le long de la vallée de Tirso. Une fois entrés dans la province de Sassari, les deux principales composantes se séparent, se poursuivant distinctement vers Olbia et Sassari.

Il est possible de procéder à la même élaboration pour les ports de Porto Torres (Figure 176, Golfo Aranci (Figure 177), Porto Vesme (Figure 178) et Cagliari (Figure 179), en calculant pour chacun d'eux le coût social global relatif (Tableau 58).

PORTO	costo sociale €/anno
Porto Torres	7.485
Golfo Aranci	10.430
Oristano S.ta Giusta	4.488
Porto Vesme	6.338
Cagliari	8.133

Source: traitement META

Tableau 58 - Distance parcourue par route



La comparaison des différents coûts sociaux montre que le port d'Oristano Santa Giusta est le choix ayant le plus faible impact social, suivi de Porto Vesme, Porto Torres et Cagliari. Golfo Aranci est pénalisé par un taux d'accidents particulièrement élevé lié aux routes SP16 et SP82, qui constituent en même temps un passage obligé pour quitter le port<sup>46</sup>.

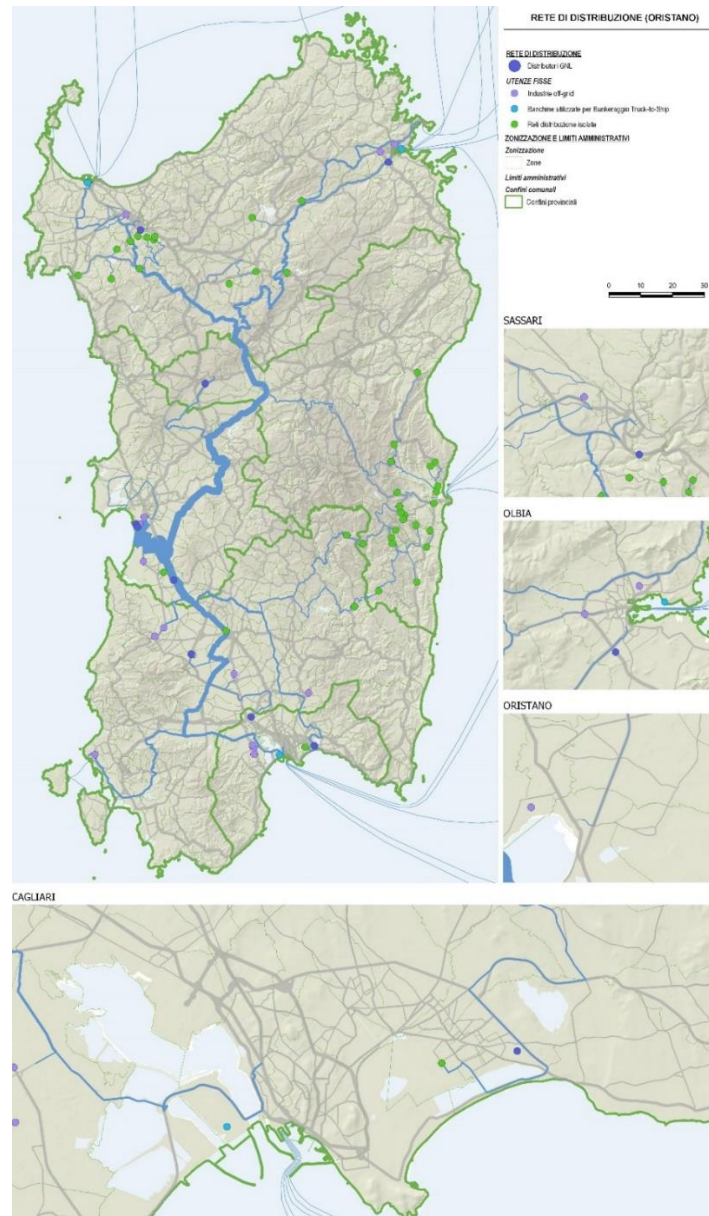
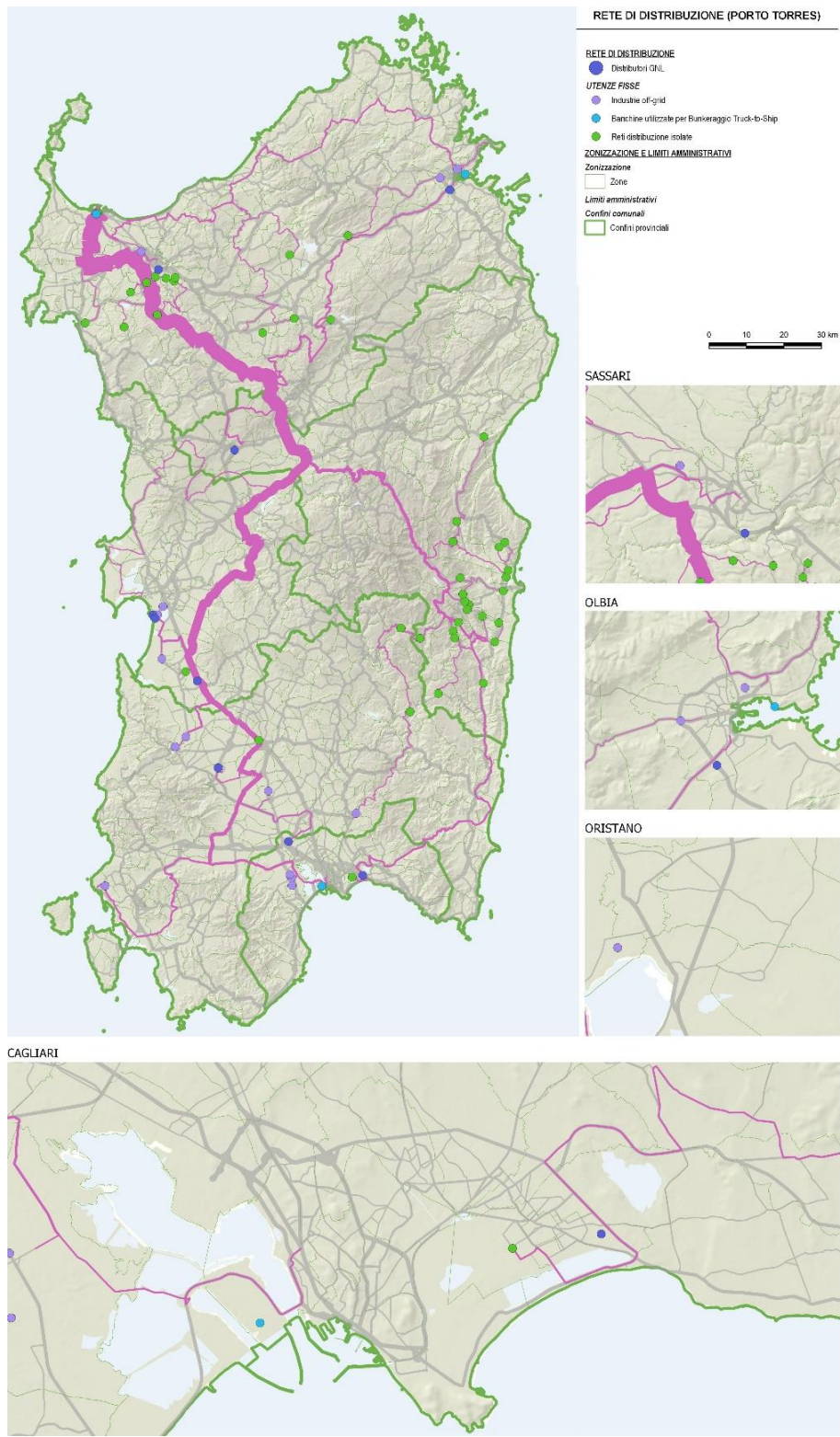


Figure 175- Assignation des mouvements de camions citernes sur les routes à risque minimum à partir du port d'Oristano

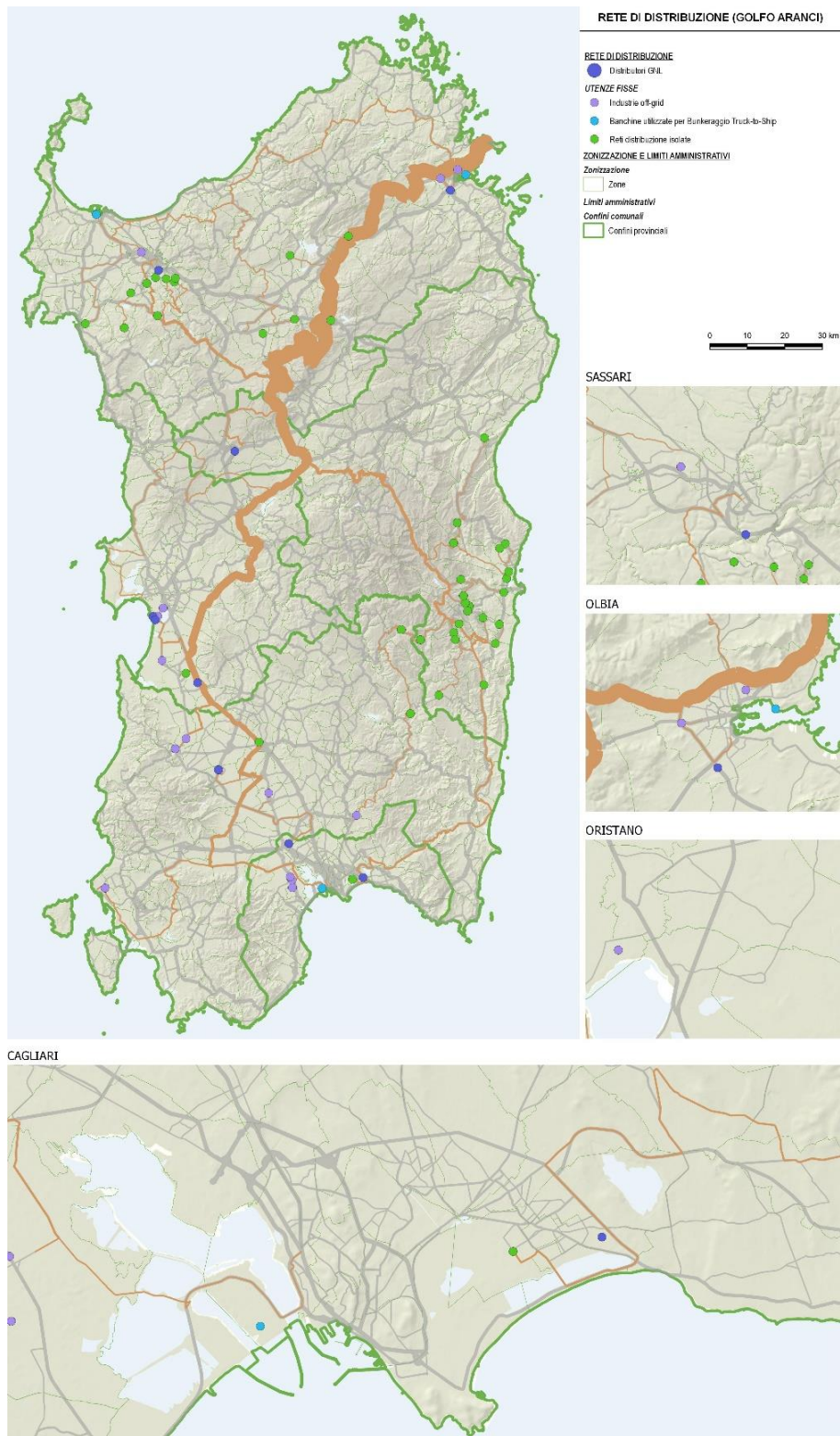
<sup>46</sup> Cette valeur peut également être le résultat d'une sous-estimation des flux de véhicules sur ces infrastructures, elle-même due à l'absence de données de validation dans la zone lors de la calibration du modèle.





Source: traitement META

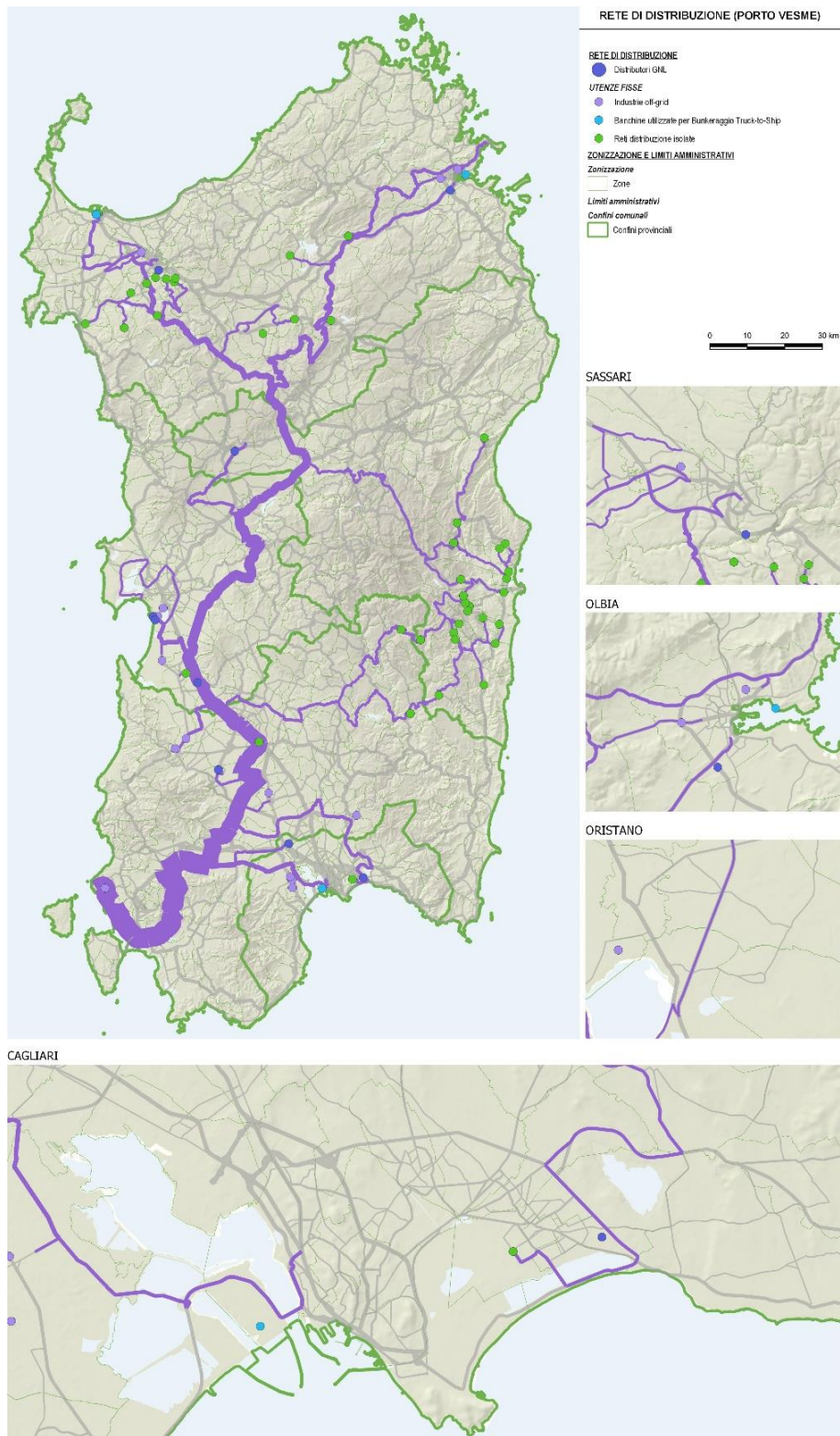
Figure 176 - Assignation des mouvements de camions citernes sur les routes à risque minimum Porto Torres



Source: traitement META

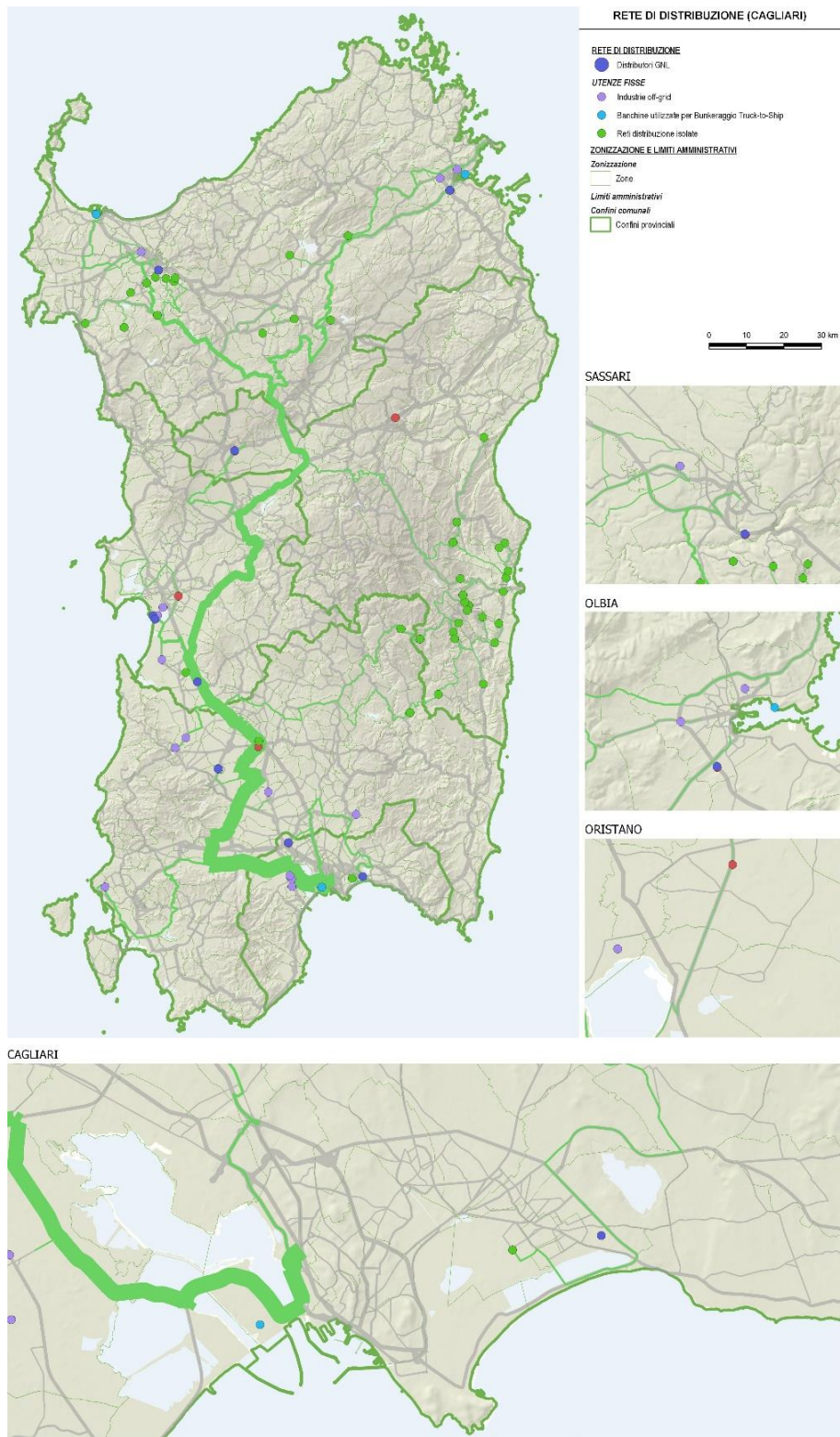
Figure 177 - Assignation des mouvements de camions citernes sur les routes à risque minimum à partir du port d'Olbia





Source: traitement META

Figure 178 - Assignation des mouvements de camions-citernes sur les routes à risque minimum à partir de Porto Vesme



Source: traitement META

Figure 179 - Assignation des mouvements decamions citernes sur les routes à risque minimum à partir du port de Cagliari

### 3.19.4 Assignation au réseau: cas de plusieurs lieux d'origine

Dans cette deuxième hypothèse, on évalue la disponibilité simultanée de tous les lieux d'origine vus dans le paragraphe précédent. Par conséquent, pour chaque destination, seule l'origine qui peut être atteinte par l'itinéraire au coût social le plus bas est sélectionnée.

Les résultats de cette opération sont présentés dans la Figure 180. Comme on peut l'imaginer, le port d'Oristano Santa Giusta reste le port de référence pour la plupart des destinations.

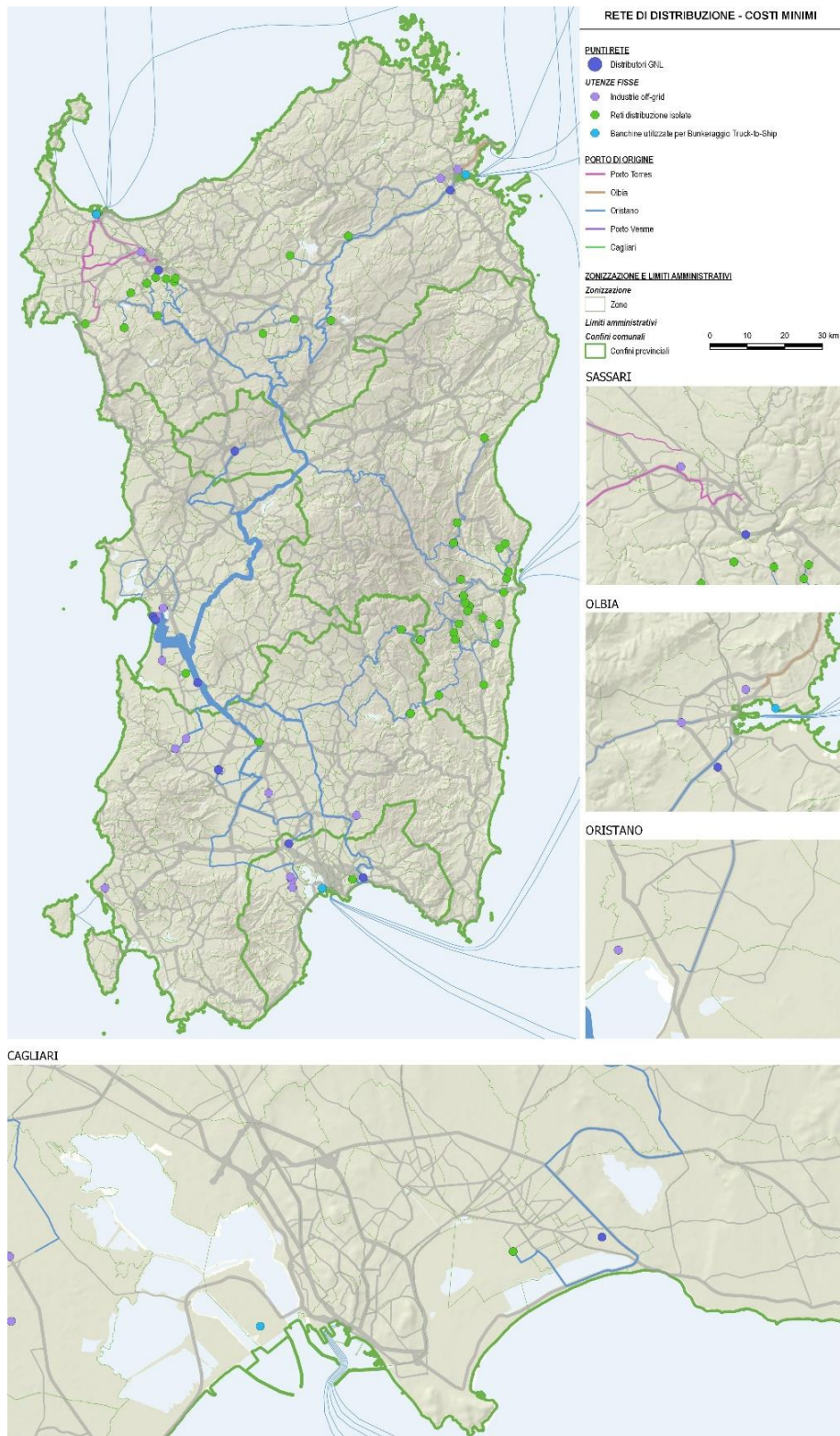
Les seules exceptions concernent le territoire à l'ouest de Sassari, qui se retrouve sous Porto Torres. Des effets similaires ne se produisent pas dans les trois autres ports, pour des raisons différentes:

- Le port de Cagliari étant très proche de la ville, les dégâts potentiels sont particulièrement élevés;
- Porto Vesme n'a pas de destinations intérieures intéressantes sur lesquelles il est avantageux par rapport à Oristano;
- Golfo Aranci, comme on l'a vu dans le paragraphe précédent, est plutôt pénalisé par des taux d'accidents élevés sur les deux routes d'accès au port.

Dans ce cas, les seules destinations rentables sont celles situées à proximité immédiate du port (ou à l'intérieur du port), comme les quais utilisés pour l'avitaillement *par camion*.

Au total, le coût social global associé à cette dernière hypothèse est de **3'784 € /an**, soit 20% de moins que le scénario basé exclusivement sur le port d'Oristano. Cette économie semble être associée principalement aux transits évités dans la zone urbaine de Sassari, étant donné la disponibilité d'un point d'origine à Porto Torres.





Source: traitement META

Figure 180 - Assignation des mouvements de camions-citernes sur les routes présentant un risque minimum absolu

### 3.19.5 Remarques finales

Ce rapport a illustré les résultats finaux des élaborations relatives à l'identification des routes à risque minimum pour la distribution du GNL en Sardaigne, définies en référence au scénario de pénétration de base.

La méthodologie adoptée est divisée en plusieurs étapes de base:

- vérification de la configuration du réseau de distribution de GNL sur l'île, par rapport aux initiatives en cours, ainsi que des considérations théoriques relatives à la répartition optimale des points du réseau pour la vente de carburant automobile, et détermination conséquente de la matrice origine/destination (O/D) des mouvements annuels des navires cryogéniques dans les situations SOMD (*single origin multiple destination*, où le seul point de déchargement est le port d'Oristano) et MOMD (*multiple origin multiple destination*, où les ports de Porto Torres, Golfo Aranci, Port Vesme et Cagliari sont ajoutés);
- analyse des données d'accidents sur le réseau routier sarde, avec une estimation de la probabilité d'un accident impliquant un camion-citerne cryogénique;
- estimation des dommages potentiels liés à un tel accident, en se référant aux conséquences sur la population humaine (occupants des véhicules en transit et riverains de la route) et sur l'environnement naturel (zones incluses dans le réseau Natura 2000);
- calcul, comme produit des deux facteurs précédents, du risque social associé au transit d'un camion-citerne cryogénique sur chaque arc du réseau routier sarde;
- l'identification des itinéraires présentant un risque social minimal, et la détermination des coûts correspondants, dans les différentes configurations de réseau envisagées.

Le résultat obtenu confirme la validité du choix du port d'Oristano qui, en plus d'être dans une position assez centrale par rapport aux lieux de consommation, dispose également d'un système de routes d'accès qui permet d'éviter le transit à l'intérieur des zones urbaines. Moins efficace, pour des raisons différentes selon les cas, est l'utilisation des aéroports de Golfo Aranci, Porto Vesme ou Cagliari, qui sont parfois pénalisés par une position excentrique par rapport à la géographie de la consommation prévue, et parfois par des problèmes d'accidents et/ou un nombre élevé de personnes exposées sur les routes d'accès. Le cas de Porto Torres apparaît un peu différent, représentant la solution d'un risque social plus faible pour les points du réseau situés dans le quadrant extrême nord-ouest de l'île, atteignables depuis Oristano uniquement en touchant la zone urbaine de Sassari. L'utilisation de cette deuxième escale permettrait de réduire d'environ 20% le risque social lié à la circulation des navires cryogéniques.

Toutefois, compte tenu du développement pratique du schéma de GNL en aval de la Sardaigne, il convient que les résultats sommairement exposés ici soient bien pondérés en fonction de considérations de nature différente, telles que :

- l'entité des coûts d'exploitation normaux du trafic de camions-citernes (coûts de la main-d'œuvre, consommation, amortissement des véhicules) qui, selon les différentes conditions de trafic, peuvent prendre des valeurs comprises entre 1 et 2 €/véhicule-km, donc plusieurs ordres de grandeur supérieurs à la valeur unitaire du risque social<sup>47</sup>;
- l'ampleur des coûts de création et de gestion d'un second point d'atterrissage, comparée aux économies en termes de risque social, estimées à quelques centaines d'euros/an.

Néanmoins, la méthodologie utilisée ici a le mérite de permettre une vérification “fine” des coûts sociaux liés à la traversée de voies particulièrement sensibles, par exemple urbaines, mettant en évidence l'importance, dans la recherche de la meilleure solution, des conditions liées au dernier kilomètre. Ce problème finit d'ailleurs par être lié à la question de la sécurité des opérations de chargement/déchargement dans les dépôts.

### **3.20 L'évaluation des bénéfices environnementaux (application à la réalité de la Sardaigne)**

Cette section décrit une application au cas sarde de la méthodologie décrite dans les lignes directrices du projet SIGNAL pour évaluer les bénéfices environnementaux associés à la transition du mix énergétique et des scénarios de consommation actuels vers une utilisation plus répandue du gaz naturel liquéfié (GNL) comme carburant.

Conformément aux lignes directrices, la consommation a été répartie entre les principaux secteurs suivants: résidentiel, commercial, industriel, maritime, transport terrestre et production d'énergie thermoélectrique à grande échelle.

Les polluants suivants ont été pris en compte:

- Monoxyde de carbone (CO);
- Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>);
- Oxydes de soufre (SO<sub>x</sub>);

---

<sup>47</sup> Si l'on rapporte l'estimation monétaire du risque social (4 358 €/an) au volume total du trafic lourd (294 millions de véhicules-km/an), on obtient une valeur unitaire d'environ 1 500 €/100 millions de véhicules-km, soit 15 millionnièmes d'€/véhicule-km.

- Oxydes d'azote (NOx);
- Poussières fines (PM10 et PM<sub>2.5</sub>).

Les données relatives à la consommation d'énergie sont présentées au chapitre 3.9. Ils représentent des valeurs agrégées par secteur, à l'échelle annuelle et réparties en fonction du type de combustible avec lequel ces besoins sont satisfaits. Dans le même chapitre, deux scénarios de développement différents sont analysés, tous deux pris en compte dans l'analyse des avantages environnementaux. Les scénarios proposés fixent l'horizon temporel à 2030, mais avec des différences importantes. Le scénario "BASE" imagine qu'il n'y a pas de mesures particulières pour soutenir la transition vers le GNL, en supposant que les mesures de politique environnementale (zones SECA, cadre réglementaire ARERA, dispositions PNIEC) ne sont pas respectées. En revanche, le scénario "HAUTE PÉNÉTRATION (HPA)" suppose que des mesures de soutien soient prises pour favoriser le déploiement du GNL et du GNC, et la mise en œuvre de toutes les mesures de politique environnementale énumérées ci-dessus.

Le secteur de la "production thermoélectrique à grande échelle" a été analysé individuellement, car il est d'une importance telle qu'il pourrait justifier une éventuelle reconversion du secteur thermoélectrique sarde sans que les autres secteurs soient impliqués.

Le secteur "Transports terrestres" a également été analysé individuellement. Cela était nécessaire en raison de la complexité du secteur et de la nécessité d'appliquer une méthodologie spécifique pour l'évaluation des avantages environnementaux, qui sera expliquée séparément.

### 3.20.1 Consommation finale d'énergie

La consommation d'énergie finale considérée a été reportée dans le Tableau 59 (crf. Section 3.9- Année 2019).

Les données rapportées représentent le scénario actuel, dont les niveaux d'émission pour les polluants considérés serviront de référence pour évaluer les éventuels avantages environnementaux associés à la transition vers l'utilisation plus répandue du GNL comme carburant.

<b>Résidentiel</b>	
<i>Tot GASOL 2019</i>	94 ktep
<i>Tot LPG 2019</i>	106 ktep
<b>Tertiaire</b>	



<i>Tot GASOL 2019</i>	8 ktep
<i>Tot LPG 2019</i>	8 ktep
<b>Industriel</b>	
<i>Tot COKE de l'huile 2019</i>	75 ktep
<i>Tot OIL COMB 2019</i>	75 ktep
<i>Tot LPG 2019</i>	35 ktep
<b>Transport</b>	
<i>Tot Light 2019</i>	905 ktep
<i>Diesel léger 2019</i>	724 ktep
<i>Essence légère 2019</i>	253.4 ktep
<i>GPL Light 2019</i>	18.1 ktep
<i>Tot Heavy Duty GASOL 2019</i>	104 ktep
<i>Tot Marino 2019</i>	185 ktep
<i>Comb Marino Oil 2019</i>	157.25 ktep
<i>Marine Diesel 2019</i>	27.75 ktep
<b>Thermoélectrique</b>	
<i>Tot COKE de l'huile 2019</i>	183 ktep

Tableau 59 - Consommation finale d'énergie pour l'année 2019

### 3.20.2 Facteurs d'émission

Les facteurs d'émission utilisés dans cette analyse sont tirés du "EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019"<sup>48</sup>. La base de données fournit différents niveaux de détail et de spécificité croissants pour la détermination des facteurs d'émission, appelés TIER 1, TIER 2, TIER3.

Dans la présente analyse, étant donné que l'échelle d'analyse est égale à une région entière, les facteurs d'émission ont été choisis parmi les TIER 1, qui sont déterminés en considérant une technologie de production et un système de réduction typique pour le secteur examiné.

Le manuel EMEP/EEA ne fournissant pas de valeurs pour les facteurs d'émission de dioxyde de carbone, il a été nécessaire de prendre également en compte une deuxième

<sup>48</sup> Disponible en ligne : <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>



source (Facteurs d'émission pour la production et la consommation d'électricité en Italie - ISPRA, 2019)<sup>49</sup> qui a fourni les données manquantes.

En ce qui concerne les facteurs d'émission de CO<sub>2</sub> dans le secteur maritime (tant pour le pétrole marin que pour le diesel), il a été fait référence à la directive 2014 de l'OMI (*"Directives sur la méthode de calcul de l'indice d'efficacité énergétique atteint (EEDI) pour les navires neufs - Résolution MEPC 245 (66), 2014*). Les informations manquantes sur les facteurs d'émission pour les navires fonctionnant au GNL ont été extraites de la littérature<sup>50</sup> et considérées comme un pourcentage réduit des facteurs d'émission dans le cas des navires fonctionnant aux combustibles fossiles (MDO - diesel marin et MGO - gazole marin). À cet égard, il convient de souligner que le calcul des émissions de monoxyde de carbone n'a pas été envisagé dans le cas des navires alimentés au GNL. En effet, les émissions de ce polluant dépendent étroitement du type de moteur: il est très différent de considérer un navire alimenté exclusivement au GNL que de considérer un navire dont le système d'alimentation a été converti du fioul au gaz naturel. Les moteurs modernes sont optimisés pour assurer une faible consommation et minimiser les émissions polluantes, tant dans leur structure intrinsèque que dans le développement de systèmes d'injection, d'allumage et de contrôle "sur mesure" pour le carburant spécifique pour lequel ils ont été conçus. Leur conversion, pour l'utilisation de carburants à moindre impact environnemental, ne parvient pas toujours à satisfaire la recherche d'une amélioration de tous les paramètres.

Le Tableau 60 montre tous les facteurs d'émission utilisés, avec une référence au secteur spécifique et au polluant spécifique. Le tableau indique également la source d'où provient chaque coefficient.

---

<sup>49</sup> <http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/serie-storiche-emissioni/fattori-di-emissione-per-la-produzione-ed-il-consumo-di-energia-elettrica-in-italia/view>

<sup>50</sup> "Physical Characteristics of Particle Emissions from a Medium Speed Ship Engine Fueled with Natural Gas and Low-Sulfur Liquid Fuels", Jenni Alanen, Mia Isotalo, Niina Kuittinen, Pauli Simonen, Sampsa Martikainen, Heino Kuuluvainen, Mari Honkanen, Kati Lehtoranta, Sami Nyysönen, Hannu Vesala, Hilikka Timonen, Minna Aurela, Jorma Keskinen et Topi Rönkkö DOI: 10.1021/acs.est.9b06460

**Résidentiel + Tertiaire** - Sources: EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - Emission factors for electricity production and consumption in Italy (ISPRA) 2019

Secteur EMEP/EEE	TIER - Source	Catégorie de carburant TIER 1	Carburant	Substance	Valeur EF	UM
Plantes résidentielles	Facteur d'émission Tier 2	Gaz Pétrole	Carburant diesel	PM10	1.5	g/GJ
Plantes résidentielles	Facteur d'émission Tier 2	Gaz Pétrole	Carburant diesel	PM2.5	1.5	g/GJ
Plantes résidentielles	Facteur d'émission Tier 2	Gaz Pétrole	Carburant diesel	NOx	69	g/GJ
Plantes résidentielles	Facteur d'émission Tier 2	Gaz Pétrole	Carburant diesel	SOx	79	g/GJ
Plantes résidentielles	Facteur d'émission Tier 2	Gaz Pétrole	Carburant diesel	CO	3.7	g/GJ
NA	ISPRA	Gaz Pétrole	Carburant diesel	CO2	730.5	g CO2/ kWh
Plantes résidentielles	Facteur d'émission de niveau 1	Combustibles gazeux	GPL	PM10	1.2	g/GJ
Plantes résidentielles	Facteur d'émission de niveau 1	Combustibles gazeux	GPL	PM2.5	1.2	g/GJ
Plantes résidentielles	Facteur d'émission de niveau 1	Combustibles gazeux	GPL	NOx	51	g/GJ
Plantes résidentielles	Facteur d'émission de niveau 1	Combustibles gazeux	GPL	SOx	0.3	g/GJ
Plantes résidentielles	Facteur d'émission de niveau 1	Combustibles gazeux	GPL	CO	26	g/GJ
NA	ISPRA	Combustibles gazeux	GPL	CO2	392.5	g CO2/ kWh
Plantes résidentielles	Facteur d'émission Tier 2	Gaz naturel	NLG	PM2.5	0.2	g/GJ
Plantes résidentielles	Facteur d'émission Tier 2	Gaz naturel	NLG	PM10	0.2	g/GJ
Plantes résidentielles	Facteur d'émission Tier 2	Gaz naturel	NLG	NOx	42	g/GJ
Plantes résidentielles	Facteur d'émission Tier 2	Gaz naturel	NLG	SOx	0.3	g/GJ
Plantes résidentielles	Facteur d'émission Tier 2	Gaz naturel	NLG	CO	22	g/GJ
NA	ISPRA	Gaz naturel	NLG	CO2	367.5	g CO2/ kWh

**Industriel** - Sources: EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - Facteurs d'émission pour la production et la consommation d'électricité en Italie (ISPRA) 2019

Production publique d'électricité et de chaleur	Facteur d'émission de niveau 1	Mazout lourd	Coke de pétrole	PM2.5	19.3	g/GJ
Production publique d'électricité et de chaleur	Facteur d'émission de niveau 1	Mazout lourd	Coke de pétrole	PM10	25.2	g/GJ
Production publique d'électricité et de chaleur	Facteur d'émission de niveau 1	Mazout lourd	Coke de pétrole	NOx	142	g/GJ
Production publique d'électricité et de chaleur	Facteur d'émission de niveau 1	Mazout lourd	Coke de pétrole	SOx	495	g/GJ
Production publique d'électricité et de chaleur	Facteur d'émission de niveau 1	Mazout lourd	Coke de pétrole	CO	5	g/GJ
NA	ISPRA	Mazout lourd	Coke de pétrole	CO2	755.4	g CO2/ kWh
Production publique d'électricité et de chaleur	Facteur d'émission de niveau 1	Gazole	Huile pour peigne	PM2.5	0.8	g/GJ
Production publique d'électricité et de chaleur	Facteur d'émission de niveau 1	Gazole	Huile pour peigne	PM10	3.2	g/GJ
Production publique d'électricité et de chaleur	Facteur d'émission de niveau 1	Gazole	Huile pour peigne	NOx	65	g/GJ
Production publique d'électricité et de chaleur	Facteur d'émission de niveau 1	Gazole	Huile pour peigne	SOx	46.5	g/GJ
Production publique d'électricité et de chaleur	Facteur d'émission de niveau 1	Gazole	Huile pour peigne	CO	16.2	g/GJ
NA	ISPRA	Gazole	Huile pour peigne	CO2	770.5	g CO2/ kWh
Production publique d'électricité et de chaleur	Facteur d'émission de niveau 1	Combustibles gazeux	GPL	PM2.5	0.89	g/GJ
Production publique d'électricité et de chaleur	Facteur d'émission de niveau 1	Combustibles gazeux	GPL	PM10	0.89	g/GJ
Production publique d'électricité et de chaleur	Facteur d'émission de niveau 1	Combustibles gazeux	GPL	NOx	89	g/GJ
Production publique d'électricité et de chaleur	Facteur d'émission de niveau 1	Combustibles gazeux	GPL	SOx	0.281	g/GJ

Production publique d'électricité et de chaleur NA	Facteur d'émission de niveau 1 ISPRA	Combustibles gazeux Combustibles gazeux	GPL GPL	CO CO2	39.3 392.5	g/GJ g CO2/ kWh
Production publique d'électricité et de chaleur	Facteur d'émission Tier 2	Combustibles gazeux	NLG	PM2.5	0.2	g/GJ
Production publique d'électricité et de chaleur	Facteur d'émission Tier 2	Combustibles gazeux	NLG	PM10	0.2	g/GJ
Production publique d'électricité et de chaleur	Facteur d'émission Tier 2	Combustibles gazeux	NLG	NOx	153	g/GJ
Production publique d'électricité et de chaleur	Facteur d'émission Tier 2	Combustibles gazeux	NLG	SOx	0.281	g/GJ
Production publique d'électricité et de chaleur NA	Facteur d'émission Tier 2 ISPRA	Combustibles gazeux Combustibles gazeux	NLG NLG	CO CO2	4.8 350.3	g/GJ g CO2/ kWh

**Trasporto Marino** - Fonti: EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 - Résolution OMI MEPC 245 (66) 2014 'Directives sur la méthode de calcul de l'indice d'efficacité énergétique atteint (EEDI) pour les navires neufs' - Caractéristiques physiques des émissions de particules d'un moteur de navire à vitesse moyenne alimenté au gaz naturel et aux carburants liquides à faible teneur en soufre.

Navigation nationale	Facteur d'émission de niveau 1	Gazole marin/gazole marin (MDO/MGO)	MDO/MGO	PM2.5	1.4	kg/tonne de combustible
Navigation nationale	Facteur d'émission de niveau 1	Gazole marin/gazole marin (MDO/MGO)	MDO/MGO	PM10	1.5	kg/tonne de combustible
Navigation nationale	Facteur d'émission de niveau 1	Gazole marin/gazole marin (MDO/MGO)	MDO/MGO	NOx	78.5	kg/tonne de combustible
Navigation nationale	Facteur d'émission de niveau 1	Gazole marin/gazole marin (MDO/MGO)	MDO/MGO	SOx	20	kg/tonne de combustible
Navigation nationale	Facteur d'émission de niveau 1	Gazole marin/gazole marin (MDO/MGO)	MDO/MGO	CO	7.4	kg/tonne de combustible
NA	OMI	Gaz marin et pétrole	MGO	CO2	3.1	tCO2/t de carburant

NA	OMI	Gazole marin	MDO	CO2	3.2	tCO2/t de carburant
NA	Littérature	Gaz naturel	GNL	PM2.5	0.14	kg/tonne de combustible
NA	Littérature	Gaz naturel	GNL	PM10	0.15	kg/tonne de combustible
NA	Littérature	Gaz naturel	GNL	NOx	31.4	kg/tonne de combustible
NA	Littérature	Gaz naturel	GNL	SOx	2	kg/tonne de combustible
NA	Littérature	Gaz naturel	GNL	CO	NA	kg/tonne de combustible
NA	Littérature	Gaz naturel	GNL	CO2	2.5	tCO2/t de carburant

Tableau 60 - Facteurs d'émission utilisés, par secteur et par polluant



### 3.20.3 Calcul des émissions - Situation actuelle

Les émissions peuvent être calculées à l'aide de la formule suivante

$$M_{polluant,année} = FE_{polluant} \cdot C_{énergie,année} (1)$$

Où:

- $M_{polluant,année}$  indique la quantité de polluant rejetée dans l'atmosphère en un an [tonne, Mton];
- $FE_{polluant}$  est le facteur d'émission du polluant considéré [g/GJ, g/kWh];
- $C_{énergie,année}$  est la consommation annuelle d'énergie résultant du combustible considéré [GJ, kWh];

dans certains cas, le facteur d'émission est exprimé sous la forme d'un rapport entre des masses (par exemple, kg/tonne de combustible): dans ce cas,  $FE_{polluant}$  sera multiplié par la masse totale de combustible utilisée annuellement, il est donc nécessaire de prendre en compte le pouvoir calorifique inférieur (PCI) du combustible en question.

Le Tableau 61 montre l'ICP pour chaque combustible considéré dans l'analyse des avantages environnementaux.

PCI	
Carburant diesel (Diesel)	42.6 MJ/kg
Coke de pétrole	29.5 MJ/kg
Huile de peigne (gasoil)	42.8 MJ/kg
GPL	45.5 MJ/kg
Diesel marin (MGO-MDO)	42.8 MJ/kg
Essence	43.4 MJ/kg
GNL	48.6 MJ/kg

Tableau 61 - Pouvoir calorifique inférieur pour chaque combustible analysé

Par souci de concision, un exemple de calcul pour les secteurs résidentiel et tertiaire est présenté dans le Tableau 62. en utilisant les facteurs d'émission précédemment présentés dans le Tableau 60 consommation d'énergie se réfère aux valeurs présentées dans le Tableau 59.

### Résidentiel

Tot GASOL 2019	3935592	GJ	Polluant	facteur d'émission	UM	Numéro [g]	Émission [tonne]
	1093220000	kWh	PM2.5	1.5	g/GJ	5903388	5.9
			PM10	1.5	g/GJ	5903388	5.9
			NOx	69	g/GJ	271555848	271.6
			SOx	79	g/GJ	310911768	310.9
			CO	3.7	g/GJ	14561690.4	14.6
			CO2	730.6	g / kWh	7.987E+11	798700.2
Tot LPG 2019	4438008	GJ	Polluant	facteur d'émission	UM	Numéro [g]	Émission [tonne]
	1232780000	kWh	PM2.5	1.2	g/GJ	5325609.6	5.3
			PM10	1.2	g/GJ	5325609.6	5.3
			NOx	51	g/GJ	226338408	226.3
			SOx	0.3	g/GJ	1331402.4	1.3
			CO	26	g/GJ	115388208	115.4
			CO2	392.5	g / kWh	4.83874E+11	483874.2

### Tertiaire

Tot GASOL 2019	334944	GJ	Polluant	facteur d'émission	UM	Numéro [g]	Émission [tonne]
	93040000	kWh	PM2.5	1.5	g/GJ	502416	0.5
			PM10	1.5	g/GJ	502416	0.5
			NOx	69	g/GJ	23111136	23.1
			SOx	79	g/GJ	26460576	26.5
			CO	3.7	g/GJ	1239292.8	1.2
			CO2	730.6	g / kWh	67974483804	67974.5
Tot LPG 2019	334944	GJ	Polluant	facteur d'émission	UM	Numéro [g]	Émission [tonne]
	93040000	kWh	PM2.5	1.2	g/GJ	401932.8	0.4
			PM10	1.2	g/GJ	401932.8	0.4
			NOx	51	g/GJ	17082144	17.1
			SOx	0.3	g/GJ	100483.2	0.1
			CO	26	g/GJ	8708544	8.7
			CO2	392.5	g / kWh	36518806514	36518.8

Tableau 62- Exemple de calcul des émissions annuelles totales, secteur résidentiel et tertiaire

À ce stade, il est possible de caractériser les émissions globales émises, ventilées par type de polluant, au cours de l'année 2019 pour la Région Sardaigne (Tableau 63).

Émissions totales par polluant scénario actuel		UM
PM2.5	329.9	tonne
PM10	374.1	tonne
NOx	15524.8	tonne
SOx	5659	tonne
CO	1603.2	tonne
CO2	3.4	Mton

Tableau 63 - Émissions totales de la région Sardaigne pour l'année 2019

Le Tableau 64ci-dessous donne la répartition des opérations thermoélectriques

Émissions totales par polluant scénario actuel - THERMOÉLECTRIQUE UNIQUEMENT		UM
PM2.5	147.9	tonne
PM10	193.1	tonne
NOx	1088.0	tonne
SOx	3792.6	tonne
CO	38.3	tonne
CO2	1.6	Mton

Tableau 64 - Émissions annuelles totales, opérations thermoélectriques

### 3.20.4 Calcul des émissions - Scénarios "de base" et "de pénétration élevée".

D'un point de vue opérationnel, la méthodologie de calcul des émissions futures est la même que celle analysée dans le chapitre précédent, et s'effectue en appliquant l'équation (1). Ce qui est différent, cependant, c'est le mélange de produits pétroliers et de GNL qui est en mesure de couvrir les besoins énergétiques de la région de la Sardaigne, projetés selon deux scénarios différents (Base et Pénétration élevée) à un horizon de 10 ans, comme indiqué au paragraphe 3.12. Cette étape est essentielle pour identifier la part de la consommation d'énergie pour chaque secteur qui peut effectivement être remplacée par l'utilisation du GNL. En utilisant ces projections, il est possible de calculer le nouveau calendrier de consommation d'énergie pour les scénarios proposés, comme le montre le

Tableau 59. Les résultats de cette étape clé pour le calcul des avantages environnementaux sont présentés dans le Tableau 65.

A ce stade, il est possible de procéder d'une manière similaire à celle expliquée ci-dessus dans la section "Calcul des émissions - Situation actuelle" afin d'obtenir les totaux de masse, sur une base annuelle, des polluants considérés, en utilisant les facteurs d'émission indiqués dans le Tableau 60, en subdivisant à nouveau les secteurs et en considérant la production thermoélectrique comme un cas à part.

Tableau 65 - Consommation finale d'énergie prévue en 2030 selon les scénarios supposés

montre un exemple de calcul des émissions pour les deux scénarios futurs, en considérant uniquement le secteur résidentiel.

SCÉNARIO DE BASE			SCÉNARIO AP		
Résidentiel			Résidentiel		
<i>tot GASOL 2019</i>	74	ktep	<i>tot GASOL 2019</i>	42.5	ktep
<i>Quota de GNL</i>	20	ktep	<i>Quota de GNL</i>	51.5	ktep
<i>Tot LPG 2019</i>	86	ktep	<i>Tot LPG 2019</i>	54.5	ktep
<i>Quota de GNL</i>	20	ktep	<i>Quota de GNL</i>	51.5	ktep
Tertiaire			Tertiaire		
<i>tot GASOL 2019</i>	3	ktep	<i>tot GASOL 2019</i>	0	ktep
<i>Quota de GNL</i>	5	ktep	<i>Quota de GNL</i>	8	ktep
<i>Tot LPG 2019</i>	3	ktep	<i>Tot LPG 2019</i>	0	ktep
<i>Quota de GNL</i>	5	ktep	<i>Quota de GNL</i>	8	ktep
Industriel			Industriel		
<i>Tot COKE de l'huile 2019</i>	31.5	ktep	<i>Tot COKE de l'huile 2019</i>	12.5	ktep
<i>Quota de GNL</i>	43.5	ktep	<i>Quota de GNL</i>	62.5	ktep
<i>Tot OIL COMB 2019</i>	31.5	ktep	<i>Tot OIL COMB 2019</i>	12.5	ktep
<i>Quota de GNL</i>	43.5	ktep	<i>Quota de GNL</i>	62.5	ktep
<i>Tot LPG 2019</i>	15	ktep	<i>Tot LPG 2019</i>	8	ktep
<i>Quota de GNL</i>	20	ktep	<i>Quota de GNL</i>	27	ktep
Transport			Transport		
<i>Comb Marino Oil 2019</i>	143.4	ktep	<i>Comb Marino Oil 2019</i>	98.0	ktep
<i>Quota de GNL</i>	13.9	ktep	<i>Quota de GNL</i>	59.2	ktep
<i>Marine Diesel 2019</i>	13.9	ktep	<i>Marine Diesel 2019</i>	12.9	ktep
<i>Quota de GNL</i>	13.9	ktep	<i>Quota de GNL</i>	14.8	ktep
Thermoélectrique			Thermoélectrique		
<i>Tot COKE de l'huile 2019</i>	152.7	ktep	<i>Tot COKE de l'huile 2019</i>	53	ktep
<i>Quota de GNL</i>	30.3	ktep	<i>Quota de GNL</i>	130	ktep

Tableau 65 - Consommation finale d'énergie prévue en 2030 selon les scénarios supposés



## ÉMISSIONS DU SCÉNARIO DE BASE

tot BASIC GASOLINE	3098232	GJ	Polluant	facteur d'émission	UM	Emission [g]	Émission [tonne]
	860620000	kWh	PM2.5	1.5	g/GJ	4647348	4.6
			PM10	1.5	g/GJ	4647348	4.6
			NOx	69	g/GJ	213778008	213.7
			SOx	79	g/GJ	244760328	244.7
			CO	3.7	g/GJ	11463458.4	11.4
			CO2	730.6	g / kWh	6.2876E+11	628763
Tot LPG BASIC	3600648	GJ	Polluant	facteur d'émission	UM	Emission [g]	Émission [tonne]
	1000180000	kWh	PM2.5	1.2	g/GJ	4320777.6	4.3
			PM10	1.2	g/GJ	4320777.6	4.3
			NOx	51	g/GJ	183633048	183.6
			SOx	0.3	g/GJ	1080194.4	1.1
			CO	26	g/GJ	93616848	93.6
			CO2	392.5	g / kWh	3.9258E+11	392577
Total Base LNG	1674720	GJ	Polluant	facteur d'émission	UM	Emission [g]	Émission [tonne]
	465200000	kWh	PM2.5	0.2	g/GJ	502416	0.5
			PM10	0.2	g/GJ	502416	0.5
			NOx	42	g/GJ	23111136	23.1
			SOx	0.3	g/GJ	26460576	26.4
			CO	22	g/GJ	36843840	36.8
			CO2	367.5	g / kWh	1.7095E+11	170953

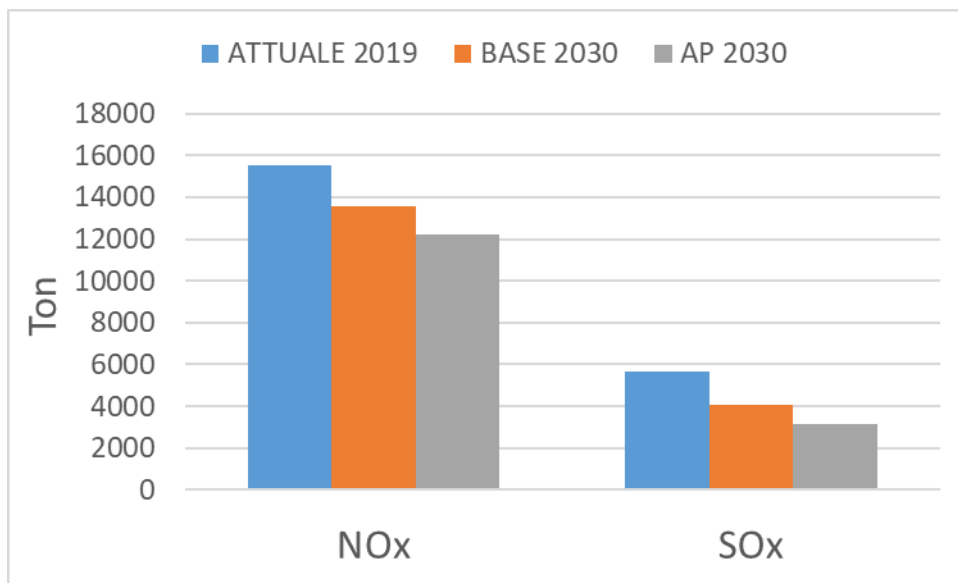
## SCÉNARIO D'ÉMISSIONS AP

tot GASOL AP	1779390	GJ	Polluant	facteur d'émission	UM	Emission [g]	Émission [tonne]
	494275000	kWh	PM2.5	1.5	g/GJ	2669085	2.6
			PM10	1.5	g/GJ	2669085	2.6
			NOx	69	g/GJ	122777910	122.7
			SOx	79	g/GJ	140571810	140.5
			CO	3.7	g/GJ	6583743	6.5
			CO2	730.6	g / kWh	3.6111E+11	361114
Tot LPG AP	2281806	GJ	Polluant	facteur d'émission	UM	Emission [g]	Émission [tonne]
	633835000	kWh	PM2.5	1.2	g/GJ	2738167.2	2.7
			PM10	1.2	g/GJ	2738167.2	2.7
			NOx	51	g/GJ	116372106	116.3
			SOx	0.3	g/GJ	684541.8	0.6
			CO	26	g/GJ	59326956	59.3
			CO2	392.5	g / kWh	2.4878E+11	248784
Tot LNG AP	4312404	GJ	Polluant	facteur d'émission	UM	Emission [g]	Émission [tonne]
	1197890000	kWh	PM2.5	0.2	g/GJ	862480.8	0.8
			PM10	0.2	g/GJ	862480.8	0.8
			NOx	42	g/GJ	181120968	181.1
			SOx	0.3	g/GJ	1293721.2	1.3
			CO	22	g/GJ	94872888	94.9
			CO2	367.5	g / kWh	4.402E+11	440204

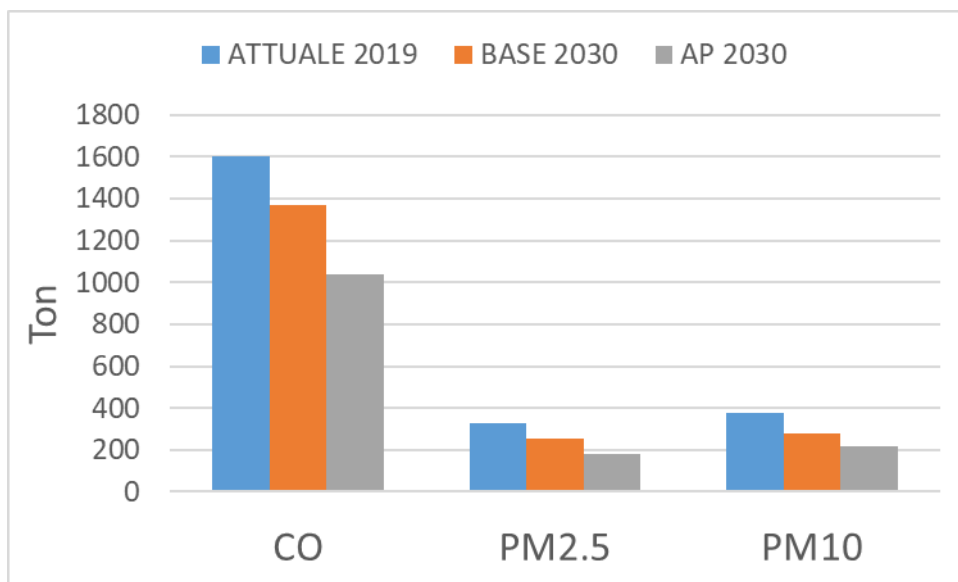
Tableau 66- Exemple de calcul des émissions annuelles totales, secteur résidentiel, scénarios BASE et HAUTE PENETRATION

### 3.20.5 Résultats de l'analyse environnementale - Secteurs résidentiel, commercial, industriel et du transport maritime

Cette section présente les résultats agrégés de l'analyse environnementale, obtenus par comparaison directe des émissions calculées dans les trois scénarios présentés et décrits ci-dessus, à l'exclusion des secteurs du transport terrestre et de la production thermoélectrique, qui ont été analysés séparément:



(a)



(b)

Figure 181- Émissions annuelles totales (en tonnes) divisées par différents scénarios et polluants: NOx et SOx (a), CO, PM2.5 et PM10 (b)

En raison de la grande diversité entre les ordres de grandeur, les résultats concernant les émissions de CO<sub>2</sub> sont présentés séparément:

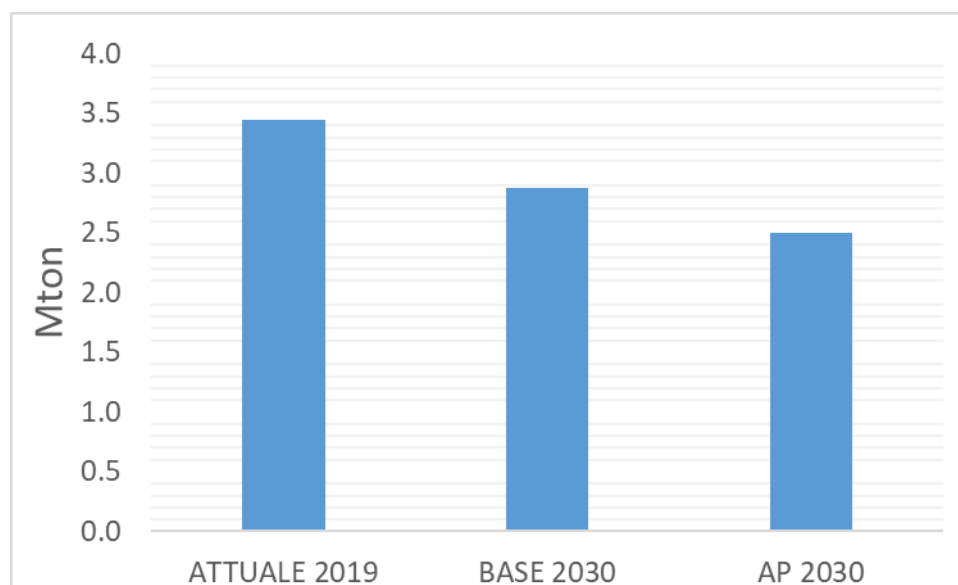


Figure 182- Émissions de CO<sub>2</sub> pour les trois scénarios analysés

Le Tableau 67 montre le pourcentage de variation par rapport à la situation actuelle.

### Variation en pourcentage

	ACTUEL 2019	BASE 2030	AP 2030
<b>PM2.5</b>	-	-23.2	-45.6
<b>PM10</b>	-	-25.3	-42.4
<b>NOx</b>	-	-12.8	-21.4
<b>SOx</b>	-	-28.0	-44.8
<b>CO</b>	-	-14.7	-35.3
<b>co2</b>	-	-16.4	-27.6

Tableau 67 - Changements en pourcentage des émissions annuelles totales

Comme on peut le constater, les émissions sont réduites pour tous les polluants considérés, avec des diminutions significatives des émissions de particules et de soufre. Cela est dû à la réduction du nombre d'installations fonctionnant au diesel et aux carburants lourds, qui sont connus pour produire des niveaux élevés de particules et de soufre.

### 3.20.6 Résultats de l'analyse environnementale - Secteur thermoélectrique

Comme expliqué ci-dessus, il est utile d'analyser les résultats obtenus en calculant et en comparant les émissions. Comme mentionné ci-dessus, le secteur thermoélectrique est analysé séparément en raison de sa grande valeur stratégique. En effet, même si le gaz naturel n'était pas largement utilisé dans les autres secteurs analysés, il pourrait être utile d'évaluer la conversion des centrales thermoélectriques de la seule région de la Sardaigne. Conformément aux informations fournies au paragraphe 3.12, on suppose une opération de décarbonisation uniquement pour les usines de Fiumesanto et de Sulcis, tandis que la raffinerie de Sarroch continuerait à alimenter l'usine de Sarlux.

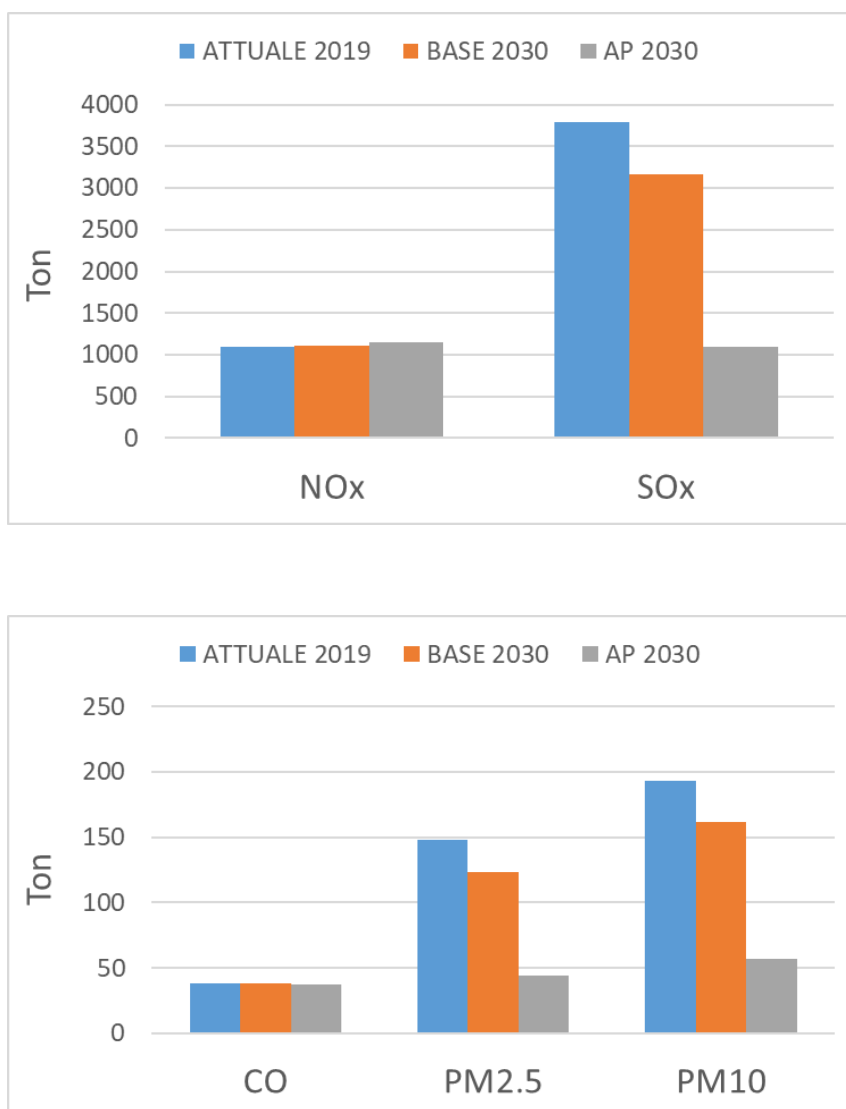


Figure 183- Émissions annuelles totales (en tonnes) divisées par différents scénarios et polluants: NOx et SOx (en haut), CO, PM2.5 et PM10 (en bas) - SECTEUR THERMOÉLECTRIQUE



De même, les valeurs d'émission pour le CO<sub>2</sub> seul sont indiquées.

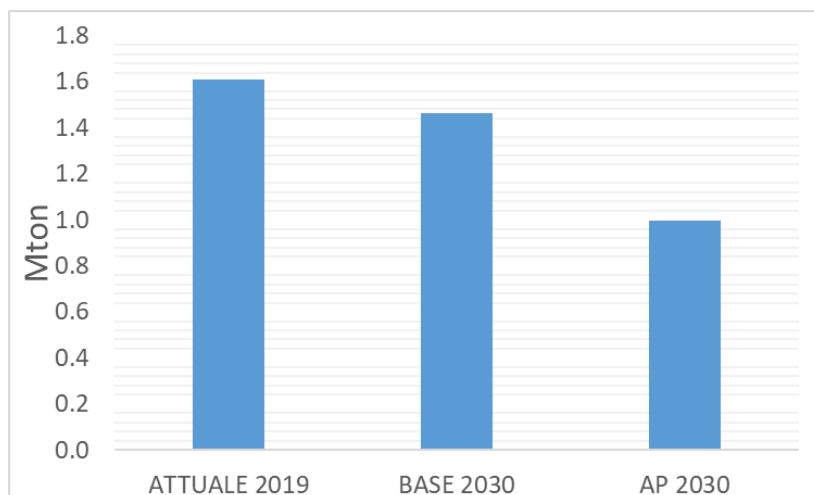


Figure 184- Émissions de CO<sub>2</sub> pour les trois scénarios analysés - SECTEUR THERMOÉLECTRIQUE

Le Tableau 68 montre les variations en pourcentage obtenues en comparant les émissions annuelles totales pour les trois scénarios envisagés.

L'analyse des résultats montre qu'en général, la tendance à la baisse des polluants est fortement en faveur de la diminution des particules et des oxydes de soufre. En ce qui concerne les oxydes d'azote, on observe une variation positive de 1,3% pour le scénario de base et de 5,5% dans le cas du scénario AP. Cela est dû à la condition particulière qui est envisagée, à savoir le remplacement des centrales alimentées par un seul type de combustible (le charbon), dont le plus grand impact environnemental est inhérent à la production élevée, pendant la combustion, de particules et d'oxydes de soufre.

#### Variation en pourcentage - Division Thermoélectrique

	ACTUEL 2019	BASE 2030	AP 2030
PM2.5	-	-16.4	-70.3
PM10	-	-16.4	-70.5
NOx	-	+1.3	+5.5
SOx	-	-16.5	-71.0
CO	-	-0.7	-2.8
CO <sub>2</sub>	-	-8.9	-38.1

Tableau 68: Évolution en pourcentage des émissions annuelles totales - SECTEUR THERMOÉLECTRIQUE

### 3.20.7 Résultats de l'analyse environnementale - Secteur des transports terrestres

Afin d'évaluer les effets possibles induits par l'adoption du GNL pour couvrir une partie de la consommation liée au transport routier dans la région de la Sardaigne, il convient de tenir compte des aspects suivants:

- La consommation liée au transport est une source importante, tant pour la production de CO<sub>2</sub> que de particules, de NO<sub>x</sub> et d'autres polluants;
- La pollution dérivant de la circulation des véhicules fera l'objet d'une réduction progressive liée au remplacement naturel des véhicules obsolètes du parc circulant par des véhicules plus modernes et conformes aux réglementations antipollution déjà en vigueur ou prévues, de plus en plus strictes en matière d'émissions atmosphériques, telles que EURO VI et EURO VII (prévues pour 2026);
- Les réductions d'émissions liées au renouvellement de la flotte peuvent se produire naturellement ou être stimulées par des programmes d'incitation et de promotion.

Dans ce cadre général, qui prévoit une réduction progressive des émissions polluantes liée au vieillissement progressif du parc en circulation, on peut estimer qu'il pourrait y avoir une réduction supplémentaire des émissions, liée à la part des nouvelles immatriculations constituées de véhicules alimentés, exclusivement ou doublement, au GNL au lieu des carburants traditionnels.

Pour calculer cette contribution, il est nécessaire de définir la part des nouvelles immatriculations prévues au cours de la période de référence et de considérer qu'un pourcentage d'entre elles sera alimenté par du gaz méthane, provenant de l'approvisionnement en GNL de la région de Sardaigne.

En outre, on peut estimer que la contribution à la réduction de chaque véhicule individuel par kilomètre est donnée par la différence entre l'émission de polluants des véhicules, ajustée aux réglementations actuelles, et l'émission de polluants des voitures correspondantes alimentées au gaz naturel, par kilomètre parcouru.

La contribution totale est obtenue en multipliant la contribution unitaire par la part du nombre total de kilomètres parcourus par des véhicules GNC, achetés comme alternative au diesel Euro VI et VII, dans les différents scénarios d'évolution.

Comme il ressort de la description ci-dessus, l'image de la réduction effective des émissions polluantes, liée à l'utilisation de véhicules fonctionnant au méthane, présente divers aspects d'incertitude et n'est pas d'évaluation immédiate.

Deux effets concomitants simples doivent être pris en compte, lors de l'évaluation de l'impact des scénarios possibles de remplacement d'une partie de la flotte en circulation par des véhicules GNC.

D'une part, il est nécessaire de tenir compte de la répartition variée et complexe des catégories de véhicules au sein du parc circulant et de la manière dont ils seront remplacés par de nouveaux véhicules; d'autre part, on peut observer que, heureusement, les nouveaux véhicules qui, d'année en année, font partie du parc circulant, en remplacement des véhicules existants, sont tous des véhicules adaptés aux normes les plus récentes et, donc, au moins à la norme EURO VI.

On s'attend à une contribution significative à la réduction des polluants, essentiellement liée à l'entrée en vigueur des réglementations anti-pollution et au renouvellement normal du parc automobile<sup>51</sup>.

Seul un pourcentage, non négligeable, des véhicules modernes est constitué de véhicules fonctionnant au gaz naturel, et on peut supposer que la contribution à la réduction correspond à la différence d'émissions entre un véhicule GNC et un véhicule EURO VI de dernière génération.

Il convient de noter que, heureusement, les limites de la norme EURO VI sont très strictes, ce qui rend les différences d'émissions entre un véhicule diesel EURO VI et un véhicule GNC minimales, les principales différences étant liées aux technologies qui doivent être utilisées pour se conformer aux réglementations.

Cependant, il faut également garder à l'esprit que les véhicules à allumage commandé ont historiquement été conçus et optimisés pour fonctionner à l'essence, et qu'il ne faut donc pas s'attendre a priori à une réduction des émissions du fait du passage à un autre carburant.

Par exemple, la combinaison de la production plus faible de CO<sub>2</sub> par kWh de carburant et de l'efficacité contextuelle plus faible du moteur à méthane signifie que la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>, pour les moteurs à combustion interne, est limitée à environ 10% seulement, et cette valeur est affectée par une large marge d'incertitude liée aux performances des moteurs individuels.

Cela est vrai pour le g de CO<sub>2</sub>/km et, dans une plus large mesure encore, pour tous les polluants. Pour cette raison, les valeurs moyennes peuvent être utilisées pour une estimation approximative, à condition de tenir compte du fait qu'elles sont affectées par une très large bande d'incertitude et parfois plus grande que la valeur elle-même<sup>4,52,53</sup>.

---

<sup>51</sup> Clairotte, M., Suarez-Bertoa, R., Zardini, A.A. *et al.* Exhaust emission factors of greenhouse gases (GHGs) from European road vehicles. *Environ Sci Eur* **32**, 125 (2020). <https://doi.org/10.1186/s12302-020-00407-5>

<sup>52</sup> K. Cheenkachorn, C. Poompipatpong, C. G. Ho, Performance and emissions of a heavy-duty diesel engine fuelled with diesel and LNG (liquid natural gas), *Energy*, Vol. 53, 2013, Pag 52-57, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.02.027>.

<sup>53</sup> Rapport de l'AEE n° 13/2019 Guide de l'inventaire des émissions de polluants atmosphériques EMEP/AEE 2019 Conseils techniques pour préparer les inventaires nationaux des émissions, ISSN 1977-8449

En ce qui concerne les émissions de particules, un aspect pour lequel la combustion du méthane est plus propre que celle du diesel, il faut également noter que, pour respecter les normes EURO VI, les moteurs à combustion interne actuels sont équipés de systèmes de réduction des particules. Ces dispositifs, bien que délicats, complexes et nécessitant un entretien considérable, permettent de ramener les émissions de particules à des niveaux similaires ou inférieurs à ceux de la combustion du méthane.

Là encore, les émissions des véhicules EURO VI au GNC et au diesel sont faibles et entachées d'une grande incertitude <sup>6,54</sup>

Outre ces deux aspects, qui jouent en faveur de l'utilisation de moteurs à combustion interne alimentés au GNL, il y a aussi les aspects dans lesquels les moteurs à méthane sont pénalisés, pour lesquels des considérations similaires aux précédentes demeurent quant à l'étendue et à l'incertitude de la pénalisation liée à leur utilisation <sup>4,55</sup>.

En termes d'émissions de NOx, les véhicules alimentés au GN sont légèrement moins bons que ceux équipés de moteurs à combustion interne classiques pour véhicules lourds<sup>56</sup>.

Enfin, il faut tenir compte des émissions d'hydrocarbures et, en particulier, du méthane lui-même. Ces fuites sont, par exemple, fréquentes lors des opérations de chargement et de déchargement des réservoirs, ou lors du ravitaillement en carburant. Étant donné la nature gazeuse du méthane, il est plus facilement sujet à des émissions accidentelles. Ce phénomène pénalise les moteurs à méthane au point de contrebalancer, dans l'ensemble, les avantages obtenus en matière d'émissions de CO<sub>2</sub> et de particules.

A cet égard, il existe une littérature importante et complexe dont sont tirés quelques exemples, tels que ceux donnés dans la bibliographie, qui montrent une grande dispersion des résultats et peuvent sembler apparemment controversés mais qui montrent simplement l'incertitude des résultats expérimentaux.

Dans tous les cas, en se référant principalement à l'article <sup>57</sup>et en identifiant la contribution unitaire de réduction générée par un véhicule au méthane par rapport à un véhicule EURO VI (exprimée en g/km), les paramètres suivants peuvent être identifiés:

---

[https://www.eea.europa.eu/ds\\_resolveuid/e0473b3047bf435b95cf245894a9b197](https://www.eea.europa.eu/ds_resolveuid/e0473b3047bf435b95cf245894a9b197) ;  
[https://www.eea.europa.eu/ds\\_resolveuid/2B5XD6Z9OG](https://www.eea.europa.eu/ds_resolveuid/2B5XD6Z9OG)

<sup>54</sup> O. Delgado, R. Muncrief, Assessment of Heavy-Duty Natural Gas Vehicle Emissions: Implications et recommandations politiques, - Livre blanc. Publié: 2015.07.30

<sup>55</sup> Vermeulen, R. J. (2019). Tests d'émissions d'un camion Euro VI à double carburant GNL-diesel aux Pays-Bas. Den Haag: TNO.

<sup>56</sup> Transport & Environnement: "Les camions à gaz réduisent-ils les émissions?", septembre 2018. <https://www.transportenvironment.org/publications/do-gas-trucks-reduce-emissions> ;

NGVA : <https://www.ngva.eu/medias/comments-on-the-te-report-do-gas-trucks-reduce-emissions/>;

T&E: <https://www.transportenvironment.org/publications/do-gas-trucks-reduce-emissions-your-questions-answered>.

<sup>57</sup> Vermeulen, R. J., Verbeek, R., Van Goethem, S., & Smokers, R. (2017). Essais d'émissions de deux véhicules lourds Euro VI au GNL aux Pays-Bas: émissions du réservoir à la roue. Den Haag: TNO.

- CO<sub>2</sub> -10%;
- Particules-15%;
- NO<sub>x</sub>+15%;
- HC+30%.

Il convient de noter que, même à la lumière des considérations exposées ci-dessus, toutes les contributions en pourcentage ne sont pas négatives.

A titre d'exemple, on peut considérer les réductions de CO<sub>2</sub> et de NO<sub>x</sub> pour le scénario rapporté dans le produit T3.3.1, dans le chapitre "Analyse de la pénétration potentielle du GNL dans la flotte de camions en circulation". Selon l'hypothèse la plus optimiste, qui correspond à une incidence des véhicules fonctionnant au GNL sur le parc total en 2030 égale à 18,5%, ce qui se traduit par un volume de 54 Mvkm/an, et en prenant comme facteurs d'émission moyens ceux indiqués dans le "EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook":

- NO<sub>x</sub>: 33,37 g/kg Diesel
- CO<sub>2</sub>: 3,169 kg/kg Diesel
- 

Dans la même publication, une valeur de 240 g de diesel/km est donnée comme consommation typique de carburant par kilomètre pour un véhicule lourd.

La mise en commun de ces données donne les changements suivants dans les émissions:

- NO<sub>x</sub>: +64,87 tonnes/an
- CO<sub>2</sub>: -4107 tonnes/an
- 

On constate que ces valeurs d'exemple, qu'elles soient positives ou négatives, affectées par les incertitudes mentionnées ci-dessus, sont de toute façon inférieures de trois ordres de grandeur aux contributions inhérentes aux secteurs analysés précédemment (résidentiel, tertiaire, industriel, transport maritime et thermoélectrique), rendant le secteur des transports négligeable dans le calcul final en termes d'impact environnemental et de réduction des émissions.

### 3.20.8 Système d'échange de quotas d'émission de l'UE

Lorsqu'on considère les émissions environnementales, il est fondamental de se rappeler que l'Union européenne, dès le début des années 2000 (directive 2003/87/CE), a développé et rendu opérationnel le premier marché de valeurs mobilières pour les émissions de gaz à



effet de serre (le système communautaire d'échange de quotas d'émission - SCEQE). Le SCEQE est le principal instrument adopté par l'Union européenne pour atteindre les objectifs de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> dans les principaux secteurs industriels et dans le secteur de l'aviation. Il constitue un marché d'échange de titres qui tient compte de la valeur économique des émissions évitées. Le marché ETS est décrit en détail dans le <sup>58</sup>manuel ETS de l'UE. L'efficacité de ce système d'échange a été estimée à une réduction de 3,8% des émissions mondiales de CO<sub>2</sub> pour la zone de l'UE au cours de la période 2008-2018 par rapport à un scénario sans réglementation<sup>59</sup>. En outre, il reste aujourd'hui le plus grand marché mondial d'échange de titres environnementaux.

Le système est basé sur un mécanisme appelé "cap & trade": un plafond est fixé sur les émissions totales autorisées en Europe dans les secteurs concernés, ce qui correspond à un nombre équivalent de "quotas" (1 tonne de CO<sub>2</sub>eq. = 1 quota) qui peuvent être achetés/vendus sur un marché spécial (trade). Le SCEQE impose une limite aux émissions de polluants et encourage les pratiques qui conduisent à des cercles vertueux dans les activités à fort impact environnemental. Ceci est vrai tant pour les activités ayant un impact négatif élevé que pour celles ayant un impact positif potentiel élevé. Le SCEQE permet d'ouvrir le marché de la négociation des titres environnementaux également aux entités qui, en raison du type d'activité ou des technologies utilisées, se caractérisent déjà par un faible impact.

Le système est né en 2005, et a été articulé en différentes phases au fil du temps <sup>60</sup>:

- Phase 1: 2005-2007;
- Phase 2: 2008-2012;
- Phase 3: 2013-2020;
- Phase 4: 2021-2028.

En janvier 2021 a débuté la quatrième phase, qui prévoit une réduction annuelle des émissions de 2,2% (contre 1,74% envisagé pour la période 2015-2020<sup>61</sup>) l'Angleterre a fixé un prix légal, qui doit être utilisé dans les procédures judiciaires pour régler les litiges<sup>62</sup>.

Si l'on observe l'évolution historique du prix des certificats sur le marché du SCEQE<sup>63</sup>, illustrée par la Figure 185, il est clair que les tendances sont difficiles à prévoir, mais on constate généralement une augmentation de la valeur au début et à la fin de chaque phase.

---

<sup>58</sup> [https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/ets\\_handbook\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/ets_handbook_en.pdf)

<sup>59</sup> Patrick Bayer, Michaël Aklin, "The European Union Emissions Trading System reduced CO<sub>2</sub> emissions despite low prices", Proceedings of the National Academy of Sciences Apr 2020, 117 (16) 8804-8812; DOI: 10.1073/pnas.1918128117

<sup>60</sup> <https://climatepolicyinfohub.eu/eu-emissions-trading-system-introduction>

<sup>61</sup> [https://ec.europa.eu/clima/policies/ets/revision\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/ets/revision_en)

<sup>62</sup> <https://www.gov.uk/government/publications/determinations-of-the-eu-ets-carbon-price>

<sup>63</sup> <https://ember-climate.org/data/carbon-price-viewer/>

En ce qui concerne les valeurs minimales et maximales, on observe que le prix fluctue avec une grande variabilité d'environ 1 ordre de grandeur, passant d'environ 3,5 à environ 35 €/tonneCO<sub>2</sub>eq (en se rappelant qu'un quota équivaut à 1 tonneCO<sub>2</sub>eq).

En observant le profil, il serait tentant d'identifier une surestimation de la valeur dans la période initiale, déterminée par une sorte d'acquisition préalable de titres, qui ne se confirme pas dans la période intermédiaire des phases.

A titre d'exemple, la valeur correspondant à la réduction de 0,9 MtonCO<sub>2</sub>eq (correspondant à la réduction, pour le scénario HAUTE PENETRATION, des secteurs résidentiel, tertiaire, industriel et du transport maritime, voir paragraphe "Résultats de l'analyse environnementale - Secteurs résidentiel, commercial, industriel et du transport maritime", serait égale à environ 10 millions d'euros si les obligations valent 4 €/tonneCO<sub>2</sub>eq, alors qu'elle serait égale à environ 80 millions d'euros si les obligations valent 32 €/tonneCO<sub>2</sub>eq.

Dans ces conditions, il est très difficile de quantifier avec une valeur significative ou, même, juste sensible la valeur correspondant à la réduction de 0,9 MtonCO<sub>2</sub>eq sans faire une erreur possible d'un ordre de grandeur et, encore moins, de prévoir une valeur réaliste, en perspective, pour les prochaines années, jusqu'en 2030.



Figure 185 - Série historique de la valeur quotidienne des titres ETS en euros - Source: ember-climate.org

### 3.20.9 Conclusions

A la lumière des résultats obtenus et illustrés dans les paragraphes précédents, on peut affirmer que, surtout pour les secteurs résidentiel, tertiaire, industriel et du transport maritime, les émissions polluantes sont réduites en adoptant de nouvelles technologies basées sur le GNL pour remplacer les combustibles fossiles traditionnels.

Si l'on considère les secteurs individuels de la production d'énergie thermique à grande échelle et des transports terrestres, la situation n'est pas uniformément positive: en fait, surtout pour les NOx, il y aurait dans les deux cas une augmentation des niveaux d'émission, bien que faible. En ce qui concerne le secteur des transports terrestres, les chiffres associés aux émissions de ce secteur sont beaucoup plus faibles en termes de pourcentage que les contributions calculées pour les autres domaines considérés. Il convient de mentionner que, surtout dans le secteur des transports terrestres, l'incertitude avec laquelle les résultats sont présentés même dans la littérature est très grande et reflète la complexité d'un problème qui dépend de nombreuses variables (type de conduite, route considérée, charge du véhicule, trafic, etc.)

Il est également possible d'évaluer les effets économiques des avantages environnementaux en se référant au marché de l'EU ETS (Emission Trading System), en attribuant une valeur en euros à chaque tonne d'équivalent CO<sub>2</sub> non émise dans l'atmosphère, suivant les scénarios proposés. Cette opération est toutefois rendue complexe par la forte variabilité dans le temps de la valeur des titres échangés au sein même du marché, variabilité qui est de l'ordre d'un facteur 10, ce qui nécessite une prudence particulière dans l'interprétation des résultats, rendant notamment très difficile l'expression d'une prévision à l'horizon 2030.

A cet égard, s'il s'avère nécessaire d'approfondir le secteur portuaire, il est possible de se référer aux "Directives pour la rédaction de documents de planification énergétique environnementale pour les systèmes portuaires DEASP"<sup>64</sup> qui fournit tous les éléments pour pouvoir appliquer une méthodologie d'analyse du problème plus spécifique.

---

<sup>64</sup> [https://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/notizie/CLE/Ig\\_deasfinale.pdf](https://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/notizie/CLE/Ig_deasfinale.pdf)

## 4 Ports dans la mer Ligurienne

### 4.1 Vado Ligure et Gênes

Dans le cadre du projet SIGNAL, 8 hypothèses de projet pour la localisation de sites de stockage de GNL ont été identifiées dans les zones relatives à la zone du système portuaire de la mer Ligure orientale (voir T2. Plan de localisation des sites de stockage).

Ils le sont:

- Hypothèse 1: Vado Ligure - Stockage en tête de quai;
- Hypothèse 2: Vado Ligure - Modification du stockage sur la jetée sud;
- hypothèse 3: Vado Ligure - Cas avec extension du quai principal;
- hypothèse 4: Gênes - bassin portuaire de Sampierdarena - quai de Calata Oli Minerali;
- hypothèse 5: Gênes - bassin portuaire de Sampierdarena - quai de Ponte Ex Idroscalo;
- hypothèse 6: Gênes - bassin portuaire de Sampierdarena - quai de Ponte Somalia;
- hypothèse 7: Gênes - bassin portuaire de Cornigliano - quai du torrent Foce Polcevera;
- hypothèse 8: Gênes - bassin portuaire de Multedo - quai de Porto Petroli.

Chaque site est caractérisé par un niveau d'accessibilité différent en ce qui concerne la distribution de GNL à terre et en mer.



Figure 186- Localisation des hypothèses - Vado Ligure



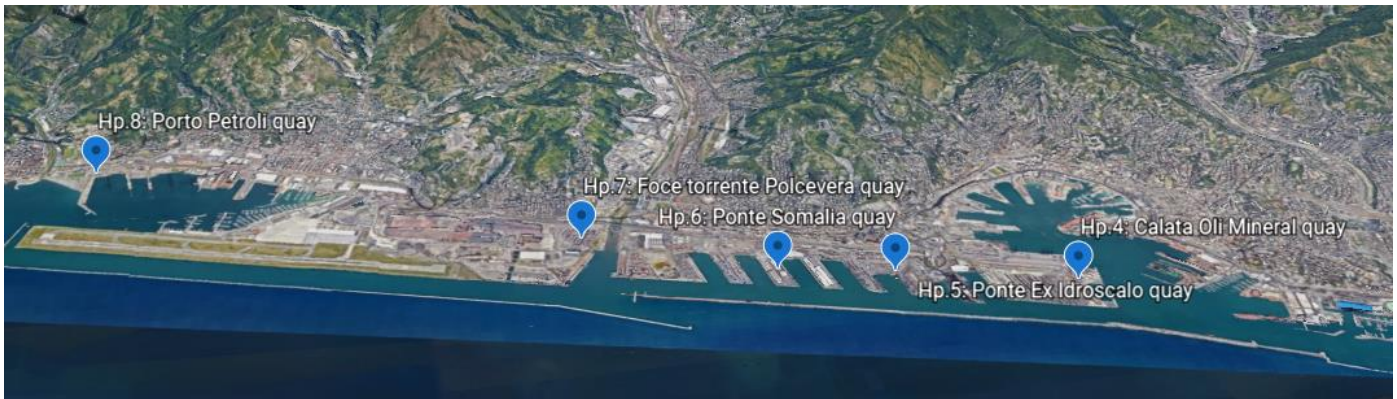


Figure 187- Localisation des hypothèses - Gênes

En ce qui concerne le niveau d'accessibilité, tous les sites sont caractérisés par un niveau élevé d'infrastructures routières et, dans certains cas, ferroviaires.

Dans le même temps, les infrastructures routières sont caractérisées par des flux de trafic intenses, en particulier à la sortie de Gênes Ouest et dans le nœud de San Benigno et, à l'Ouest, dans le cas de la réalisation de l'hypothèse 6, à la sortie de l'aéroport de Gênes et sur le nouveau système routier Cornigliano-Lungomare Canepa se concentrant probablement sur la porte Etiopia. En cas de réalisation de l'hypothèse 7, pour les flux routiers dirigés vers la Lombardie et vers le Nord-Est, il est possible de supposer une utilisation partielle du péage de Bolzaneto et de la relative viabilité le long de Polcevera.

En ce qui concerne le réseau routier interne au port, les zones sont concernées par le trafic des poids lourds et des véhicules d'exploitation importants (à l'exception du site 5) auquel s'ajoute le trafic automobile généré par les camions-citernes pour le transport du GNL.

Du côté ferroviaire, en ce qui concerne l'hypothèse 4, il est possible d'évaluer la restauration de la voie située près de Parco Rugna, qui est déjà utilisée comme point de chargement pour les cargaisons liquides en vrac. En ce qui concerne l'hypothèse 5, il est nécessaire d'évaluer l'éventuelle construction d'une piste spéciale (qui serait insérée sur la piste dirigée vers Fuori Muro), ou l'utilisation des pistes situées sur le Ponte S. Giorgio (reliées au Parco Campasso). Si le site de stockage est construit selon l'hypothèse 6, la possibilité d'utiliser la voie sur Ponte Somalia devrait être évaluée, tandis que pour l'hypothèse 7, la possibilité d'utiliser des faisceaux de voies adjacentes au complexe ILVA devrait être évaluée.

L'hypothèse 8 est la plus critique en termes d'accessibilité terrestre car les flux correspondants entraîneraient une charge opérationnelle sur le poste de péage de l'autoroute Gênes Pegli, également en raison du manque de linéarité de la voie d'accès au terminal. Dans le domaine ferroviaire, la proximité de la ligne Gênes - Vintimille doit être mentionnée avec la nécessité relative d'une connexion spécifique. Une autre criticité est représentée par la proximité du dépôt de GNL avec le centre ville.



#### 4.1.1 Projet Easy LNG

Le projet GNL FACILE, faisant partie du Cluster de 4 projets sur le GNL, parmi lesquels le même SIGNAL, réalisant 7 stations de ravitaillement mobiles comme actions pilotes dans les principaux ports commerciaux de la zone, démontre l'applicabilité immédiate du ravitaillement en GNL et présente aux opérateurs le fonctionnement des technologies de la chaîne GNL.

L'ouvrage réalisé dans le cadre du projet sera utilisé pour le ravitaillement des véhicules d'exploitation du port et aura une structure en acier avec un réservoir externe en acier-carbone (pour des raisons de sécurité). Le budget pour la construction de la station de ravitaillement mobile sera supporté par l'Autorité portuaire de la Ligurie occidentale et l'objet sera à la disposition des partenaires du projet pour les activités prévues et notamment pour les actions pilotes dans les ports de Toulon, La Spezia et Marina di Carrara.

L'investissement en question sera situé dans le port de Gênes, à la disposition de l'Autorité portuaire de la mer Ligure occidentale, pour des activités pilotes relatives au ravitaillement en GNL et à la formation du personnel en charge. La station de ravitaillement mobile reste la propriété de l'Autorité portuaire de la mer Ligure occidentale, tout comme les projets connexes réalisés dans le cadre du projet GNL-Facile.

Les zones portuaires signalées pour l'examen de conformité du VVF sont les suivantes:

- Offre de terrains
  - Zone interportuaire de Prevarco (ex Italsider);
  - Zone élevée du port;
  - distributeur de la zone portuaire de Prà.
- Fourniture de petits bateaux (service portuaire)
  - Zone du pont de Parodi Apice;
  - Zone portuaire de Voltri (quai sous l'arc).

Quant au conteneur cryogénique (ou réservoir ISO), il réduit considérablement la manipulation directe de marchandises dangereuses et les risques subséquents qui découlent du transfert de GNL. D'un point de vue économique, la distribution du GNL, les infrastructures de stockage et la logistique sont des facteurs clés pour la compétitivité de ce combustible. Le conteneur devra être fourni, par le biais de la station mobile, pour ravitailler les moyens d'exploitation et de transport (pompe supplémentaire - distributeur, distributeur de compteurs et compteur fiscal) et pour répondre à toutes les exigences en matière de sécurité et de transport (structure en acier, extérieur du réservoir en acier au carbone).

#### 4.1.1.1.1 Offre de terrains

Vous trouverez ci-dessous les plans des zones présélectionnées, indiquant les emplacements possibles de la station mobile.

La direction provinciale VVF a examiné les plans produits par l'AdSPMLO, relatifs à trois zones distinctes, indiquées comme possibles emplacements temporaires pour accueillir l'usine de ravitaillement en carburant pour l'utilisation des terres pour les moyens opérationnels et de transport (ancienne zone Italsider, zone surélevée du port et distributeur de la zone portuaire de Prà). Les évaluations ont été réalisées, en se référant aux aspects de sécurité et de prévention des incendies, comme le suggère la lettre circulaire DCPREV prot. n. 5870 du 18-05-2015 "Guide technique et actes d'orientation pour l'élaboration des projets de prévention des incendies relatifs aux installations d'approvisionnement en gaz naturel liquéfié (GNL) avec réservoir cryogénique fixe au service des installations d'utilisation autres que les véhicules à moteur - Guide technique et actes d'orientation pour l'élaboration des projets de prévention des incendies relatifs aux installations de distribution de type I-GNL, I-GNC et I-GNC/GNL pour véhicules à moteur ". Conformément à la publication du décret ministériel du 24 mai 2002 et aux modifications et ajouts ultérieurs, introduits par le décret ministériel du 12 mars 2019.

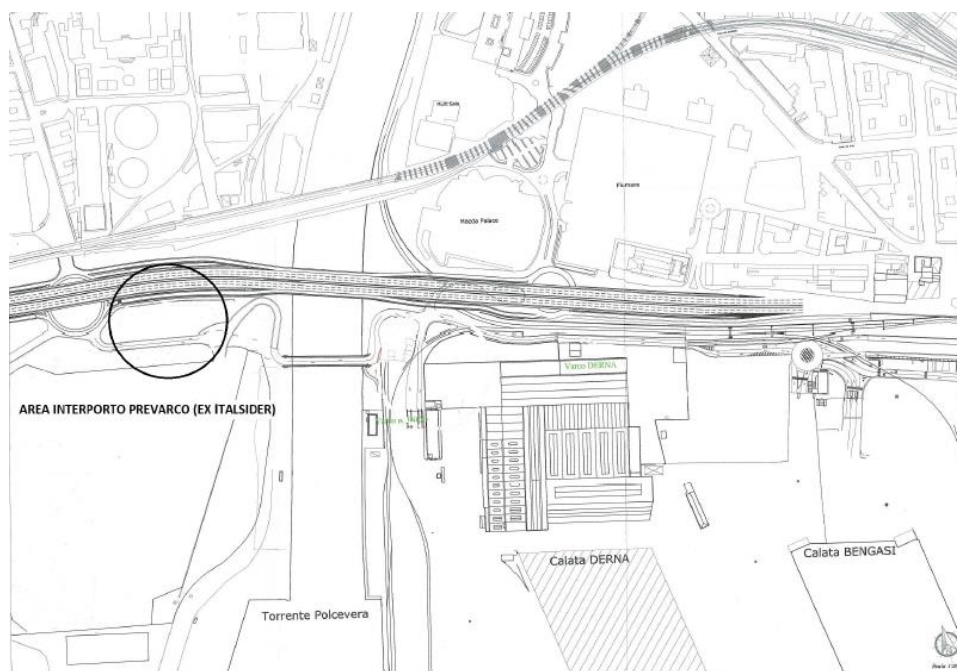


Figure 188- Localisation de la zone interportuaire de Prevarco (ex Italsider)

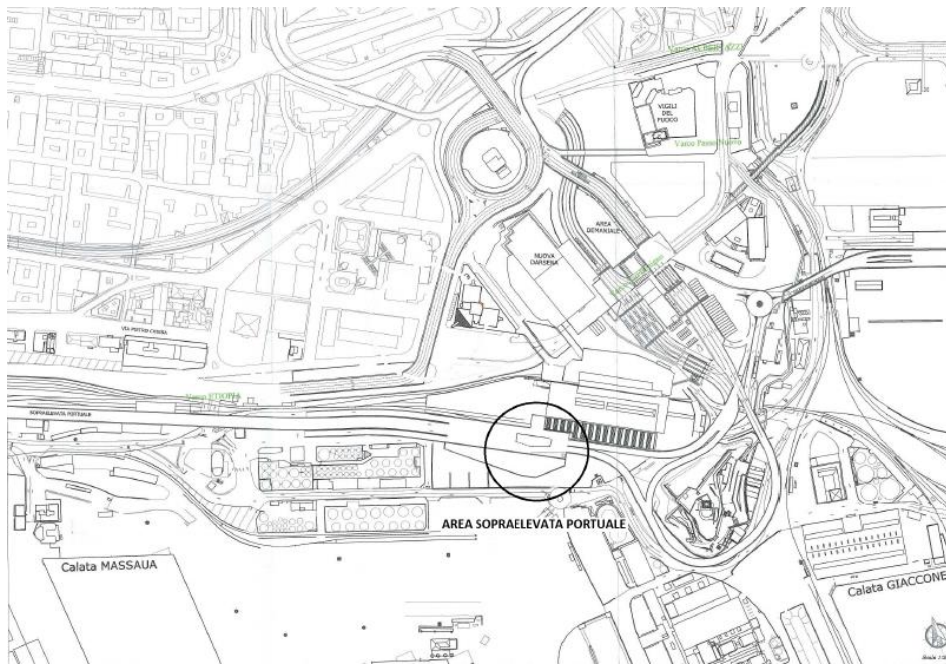


Figure 189- Emplacement de la plate-forme surélevée du Port

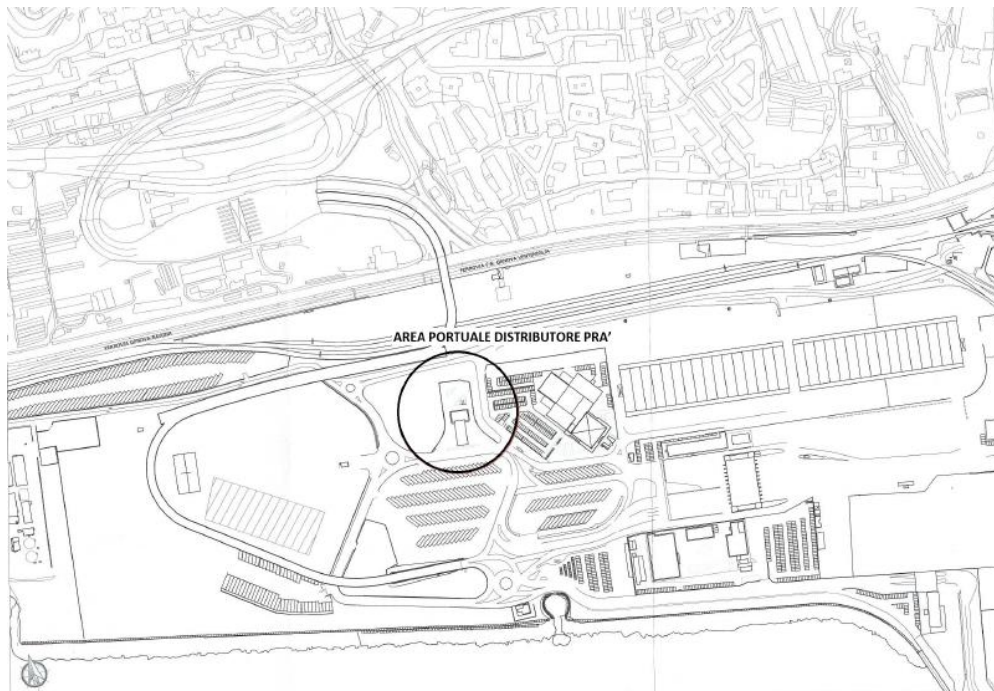


Figure 190- Emplacement du port du distributeur Prà

#### 4.1.1.1.2 Ravitaillement des petits bateaux

Compte tenu du fait que l'installation est incluse parmi les installations standard, en tant que type mobile et donc incluse parmi les applications de l'ADR, il est suggéré, en ce qui concerne la fourniture de carburant pour les petits bateaux à l'usage des services portuaires, d'inclure également des indications sur les éventuelles zones de stationnement temporaire de la station de ravitaillement à usage spécifiquement maritime. Dans ce sens, deux autres zones sont indiquées près de l'apex de Ponte Parodi et dans la zone portuaire de Prà, précisément au niveau de la jetée de Voltri under-billow.

Conformément aux exigences prévues par l'appel d'offres et en ce qui concerne les caractéristiques techniques que la station de ravitaillement doit posséder, l'AdSPMLO, en accord avec les pompiers, a vérifié la congruence des normes de référence, tant techniques que de sécurité, afin de pouvoir procéder aux activités de collaboration nécessaires pour une meilleure définition des spécifications nécessaires à la phase ultérieure de conception et d'acquisition de la station mobile de ravitaillement en GNL.

Il convient de noter que les utilisations possibles de la station mobile de ravitaillement, à utiliser également pour la distribution de GNL aux petits navires opérationnels ou de service portuaire, compte tenu de la structure et de la taille du réservoir cryogénique, avec un volume maximal prévu de 55 m<sup>3</sup>, n'est pas prévu comme un type de ravitaillement "tank to ship". En fait, cette terminologie est couramment utilisée pour faire référence au ravitaillement des réservoirs à bord des navires marchands ou commerciaux (de croisière), pour lesquels même les activités simples de remplissage de carburant ne pourraient pas être effectuées par la station fournie par le Projet GNL Facile, car elle n'a pas une capacité volumétrique suffisante et n'est pas équipée d'un matériel d'approvisionnement spécifique pour ces navires.



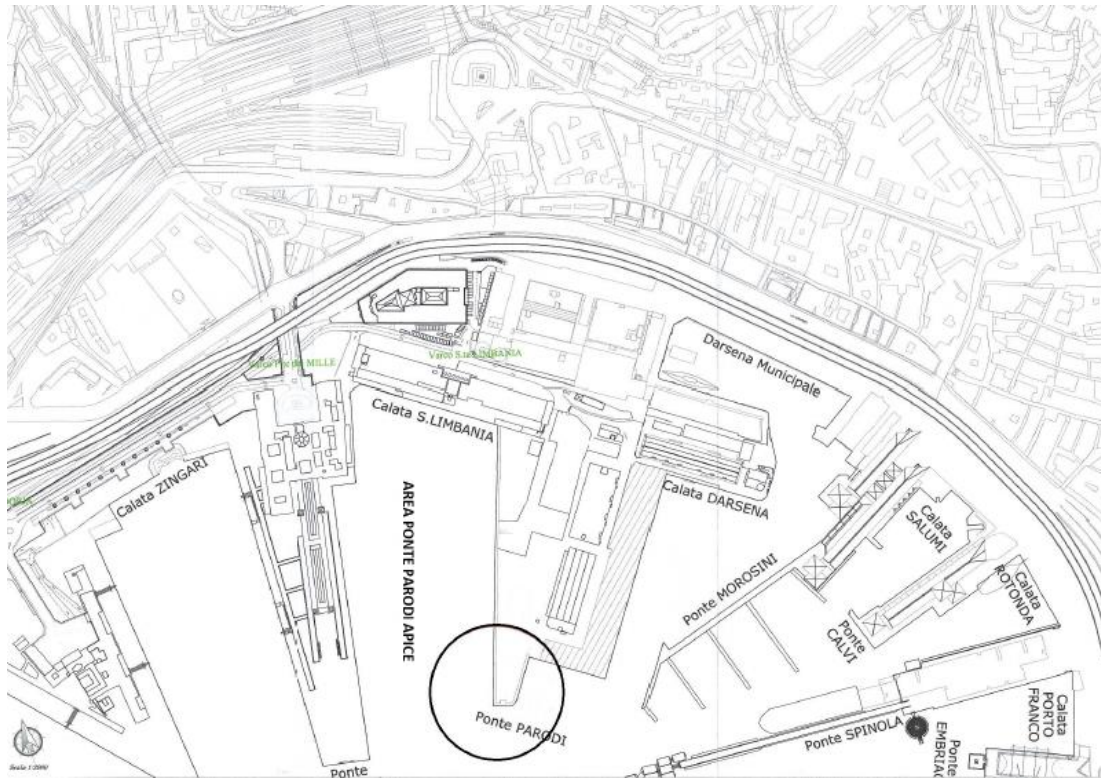


Figure 191- Localisation du pont Parodi

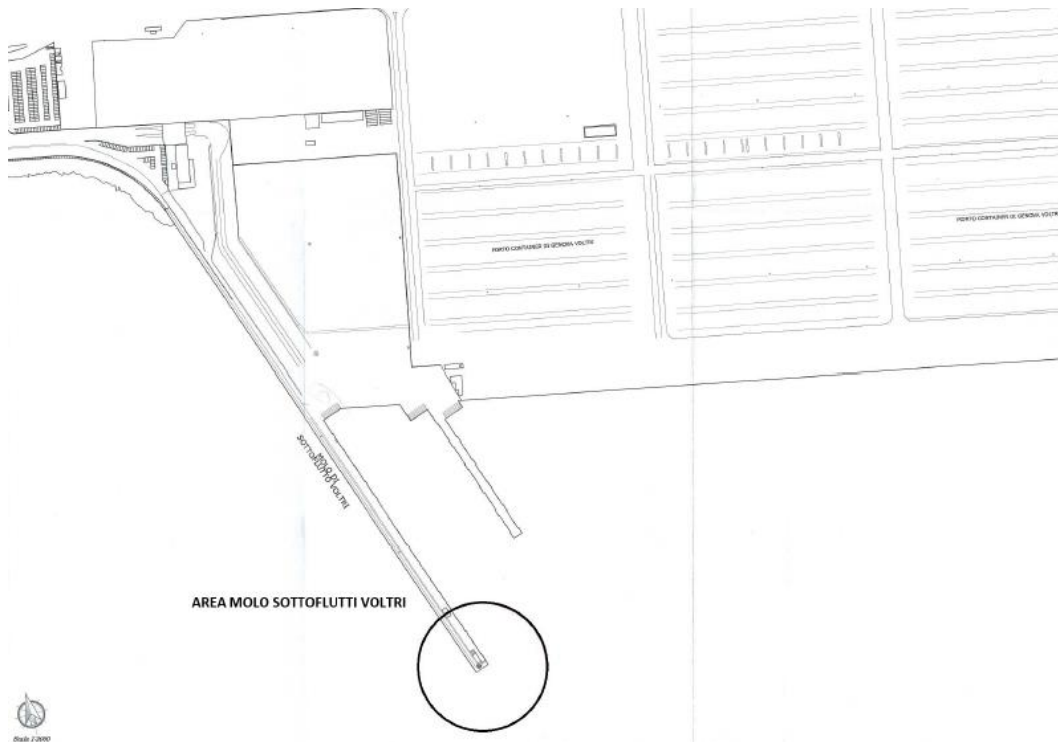


Figure 192- Emplacement de la jetée sous-marine de Voltri



## 4.2 La Spezia

Le port de La Spezia est bien relié aux plus importantes voies de communication de la côte ouest. C'est le terminus de l'autoroute A15 Parma-La Spezia, qui relie la capitale ligure à la plaine du Pô par le col de la Cisa. En outre, elle se trouve à quelques kilomètres de l'autoroute A12 Gênes - Rosignano M.mo, qui passe près de Santo Stefano Magra et est accessible de La Spezia par la même A15 (le tronçon La Spezia - Santo Stefano Magra de 7 km n'est pas soumis au péage). Le port est bien relié à l'autoroute A15 grâce à la sortie "Lerici-Porto", située à quelques centaines de mètres de la fin de celle-ci. Près de la sortie se trouve la porte principale du port, appelée Varco Stagnoni, à partir de laquelle il est possible d'accéder directement à la partie ouest du port commercial.

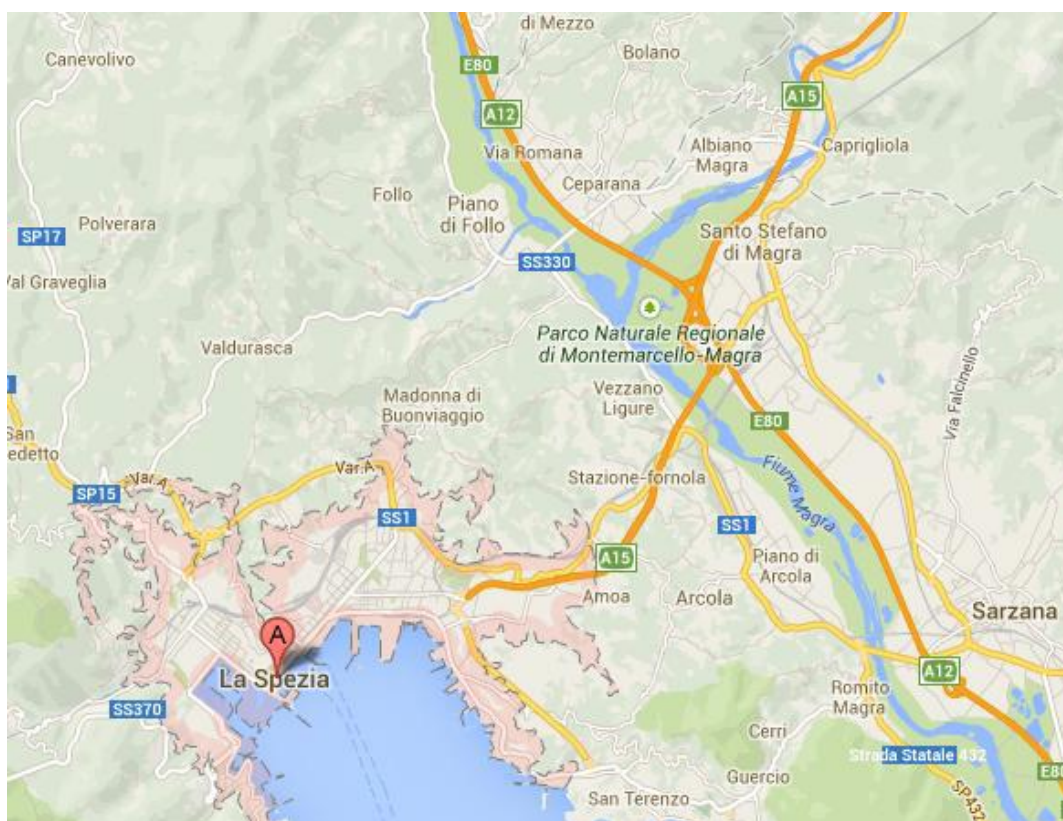


Figure 193- Principales infrastructures routières reliant le port commercial de La Spezia

Le terminal Panigaglia, quant à lui, est situé dans une position séparée du port commercial. On ne peut y accéder qu'en parcourant 10 km de routes à partir de la jonction autoroutière, en partie à travers le centre ville et en partie le long de la route côtière vers Portovenere.

À cet égard, l'Autorité portuaire, dans le cadre du projet européen GAINN4CORE, a étudié la nécessité d'un service de GNL à petite échelle à l'intérieur du port entre le terminal de Panigaglia et les quais du port, afin d'alimenter les navires en GNL et d'éviter un trafic excessif de camions sur une portion de côte particulièrement précieuse.

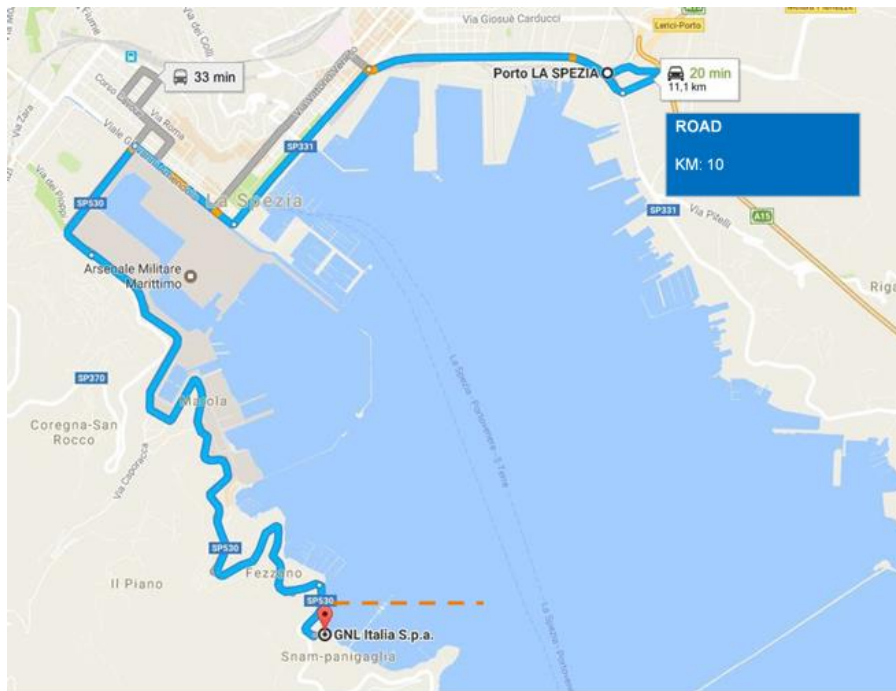


Figure 194- Principales infrastructures routières reliant le terminal de Panigaglia

En même temps, SNAM GNL Italia a également commandé des études pour gérer le trafic des véhicules routiers qui devront charger le GNL du regazéifieur et le livrer aux clients terrestres: pour éviter un trafic excessif de camions sur une portion de côte particulièrement précieuse, Snam pourrait faire en sorte que les véhicules arrivent à Panigaglia par voie maritime, sur des barges partant de La Spezia, d'où les camions citernes reviendraient toujours par barge chargée de gaz, et continuent ensuite par route vers leurs destinations finales.

On étudie actuellement la possibilité de charger en GNL les petits pétroliers (lighters) chargés de ravitailler les navires qui commenceront à naviguer en Méditerranée dans les prochaines années.

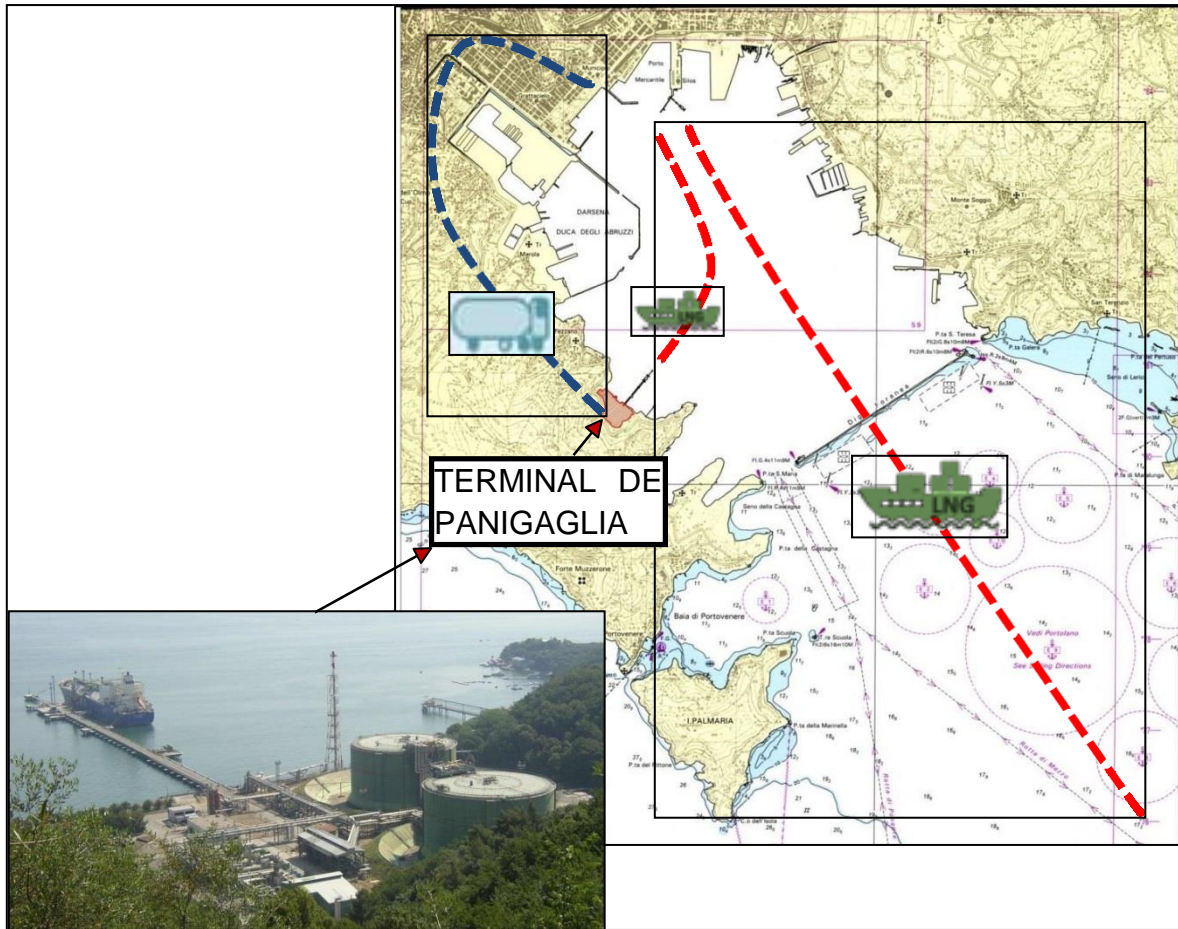


Figure 195- Schéma alternatif de distribution du GNL