



Interreg
MARITTIMO-IT FR-MARITIME



Fonds européen de développement régional



MISSION D'ETUDE DES FLUX ENERGETIQUES ENTRE LES PORTS DE LA RADE DE TOULON ET SON HINTERLAND



En collaboration avec



LIVRABLE

A l'attention de

Chambre de Commerce et d'Industrie du Var
Service des Marchés Publics
ZIP de Brégaillon
663, avenue de la 1ère Armée Française
83500 – La Seyne-sur-Mer

18/06/2020

1 Préambule

Veillez trouver ci-après notre rapport pour la mission d'étude des flux énergétiques des ports de la rade de Toulon et de son hinterland.

L'étude détaille notamment les consommations annuelles d'électricité et de gaz du port et de son hinterland, ainsi que la production photovoltaïque locale. Les zones de fortes consommations sont identifiées et analysées.

Une étude du trafic des ferries de Corsica Ferries et des bateaux de croisière a été menée pour connaître les besoins potentiels de GNL, traduits en énergie, en volume et en masse, dans un scénario réaliste de déploiement de GNL. Pour considérer le déploiement d'une station GNL pour camions, les besoins de d'une flotte de poids lourds ont été estimés. Cette étude a également permis de déterminer les flux de GNL correspondants pour l'approvisionnement en fonction des hypothèses retenues. La même étude a été réalisée pour une substitution du fioul des ferries par de l'hydrogène, produit par électrolyse ou vaporeformage.

Table des matières

1	Préambule	1
2	Introduction.....	5
2.1	Présentation de la situation étudiée	5
2.2	Données et documents fournis par la CCI.....	6
2.3	Autres données disponibles	7
3	Analyse des consommations de gaz et d'électricité.....	9
3.1	Approche	9
3.2	Analyse	9
3.3	Conclusions sur les consommations d'énergies de la zone.....	17
4	Analyse du trafic des navires.....	18
4.1	Approche	18
4.2	Analyse du trafic des ferries	18
4.3	Analyse du trafic des bateaux de croisière.....	22
4.4	Conclusions.....	24
5	Estimation de la consommation de GNL	25
5.1	Approche	25
5.2	Consommation des ferries	25
5.3	Consommation des bateaux de croisière	26
5.4	Consommation des camions	28
5.5	Consommation totale.....	28
5.6	Logistique d'approvisionnement.....	29
5.7	Conclusions.....	31
6	Etude hydrogène	33
6.1	Approche	33
6.2	Analyse	33
6.3	Conclusion	35
7	Conclusion générale	37
7.1	Analyse des vecteurs énergétiques.....	37
7.2	Pistes de travail proposées pour la suite.....	40
8	Annexe.....	42

Table des illustrations

Figure 1 : Périmètre géographique de l'étude (source : Google Maps).....	5
Figure 2 : Zone port seul.....	7
Figure 3 : Zone port et hinterland	7
Figure 4 : Répartition des consommations entre gaz et électricité en 2017	10
Figure 5 : Nombre de consommateurs d'électricité répertoriés par catégories dans la zone du port (2017)	10
Figure 6 : Consommations annuelles d'électricité (en MWh) par catégories dans la zone du port (2017)	11
Figure 7 : Nombre de consommateurs de gaz répertoriés par catégories dans la zone du port (2017)	11
Figure 8 : Consommations de gaz (en MWh) par catégories dans la zone du port (2017)	11
Figure 9 : Consommation électrique hors secteur résidentiel du port de Toulon et de son hinterland en 2017 (en MWh)	12
Figure 10 : Production photovoltaïque sur le réseau Enedis du port de Toulon et de son hinterland en 2017 (en MWh)	13
Figure 11 : Nombre d'installations photovoltaïques par maille dans la zone d'étude (2017)	13
Figure 12 : Consommation de gaz hors secteur résidentiel du port de Toulon et de son hinterland en 2017 (en MWh)	14
Figure 13 : Consommation de gaz hors secteur résidentiel du port de Toulon en 2017 (en MWh).....	14
Figure 14 : Installations de méthanisation répertoriées par GRDF (image extraite de l'open data GRDF)	15
Figure 15 : Photo de l'installation BioGNVAL (source : ADEME)	16
Figure 16 : Schéma des 3 filières de production de bioGNL.....	17
Figure 17 : Nombre mensuel d'escales de ferries au port de Toulon	18
Figure 18 : Répartition des provenances des ferries arrivant au port de Toulon	19
Figure 19 : Répartition mensuelle des provenances des ferries arrivant au port de Toulon.....	19
Figure 20 : Nombre d'escales et consommation de carburants par mois.....	20
Figure 21 : Répartition des escales par bateau	20
Figure 22 : Nombre de liaisons par bateau et par mois	20
Figure 23 : Répartition des horaires de départ et d'arrivée des ferries.....	21
Figure 24 : Répartition des durées d'escale	21
Figure 25 : Répartition des durées d'escale par catégorie	21
Figure 26 : Nombre d'escales par durée (extrait de l'étude électrification des bateaux à quai)	22
Figure 27 : Nombre d'escales par durée (résultats Keynergie avec paramètres identiques)	22
Figure 28 : Sommes des durées d'escale par type (étude électrification des bateaux à quai)	22
Figure 29 : Sommes des durées d'escale par type (résultats Keynergie avec paramètres identiques)	22
Figure 30 : Nombre mensuel de bateaux de croisières en 2019.....	23
Figure 31 : Horaires d'arrivée des bateaux de croisière	23
Figure 32 : Horaires de départ de bateaux de croisière	23
Figure 33 : Nombre d'escales par compagnie	24
Figure 34 : Nombre d'escales par bateau de croisière	24
Figure 35 : Consommation potentielle de GNL par mois pour un ferry en tonnes.....	26
Figure 36 : Consommation potentielle de GNL par mois pour un ferry en m ³	26
Figure 37 : Consommation potentielle de GNL par mois pour un ferry en nombre de barges	26

Figure 38 : Besoins de GNL pour un bateau de croisière (en tonnes).....	27
Figure 39 : Besoins de GNL pour un bateau de croisière (en m ³).....	27
Figure 40 : Répartition des besoins de GNL par utilisation	29
Figure 41 : Flux mensuel en tonnes des consommations de GNL dans le scénario retenu	29
Figure 42 : Nombre mensuel de conteneurs dans le scénario proposé.....	30
Figure 43 : Nombre mensuel de barges dans le scénario proposé	30
Figure 44 : Consommation potentielle d'hydrogène par mois	34
Figure 45 : Production solaire et besoins d'hydrogène par mois.....	35
Figure 46 : Ratio entre besoins mensuels d'hydrogène et production mensuelle	35
Figure 47 : Masses annuelles de carburants consommées (par type de carburant) par un ferry	38
Figure 48 : Volumes annuels de carburants consommés (par type de carburant) par un ferry	38
Figure 49 : Bilan carbone annuel des différents vecteurs énergétiques pour un ferry	40
Figure 50 : Nombre de consommateurs d'électricité répertoriés par catégories dans la zone du port et de son hinterland (2017)	42
Figure 51 : Consommations annuelles d'électricité (en MWh) par catégories dans la zone du port et de son hinterland (2017)	42
Figure 52 : Nombre de consommateurs de gaz répertoriés par catégories dans la zone du port et de son hinterland (2017).....	42
Figure 53 : Consommations de gaz (en MWh) par catégories dans la zone du port et de son hinterland (2017)	43

Liste des tableaux

Tableau 1 : Consommations énergétiques annuelles (2017)	10
Tableau 2 : Caractéristiques des installations de méthanisation répertoriées sur l'open data GRDF	15
Tableau 3 : Données et hypothèses relatives aux carburants utilisés par les ferries et au GNL.....	25
Tableau 4 : Récapitulatif de la consommation de GNL pour un ferry	26
Tableau 5 : Besoins de GNL pour un bateau de croisière.....	27
Tableau 6 : Besoins de GNL pour les camions.....	28
Tableau 7 : Besoins de GNL dans le scénario retenu.....	28
Tableau 8 : Capacités des terminaux de Fos-sur-Mer (Tonkin et Cavaou).....	31
Tableau 9 : Récapitulatif de la consommation d'H ₂ pour un ferry	34
Tableau 10 : Facteurs d'émission par vecteur énergétique (source : Bilans GES ADEME)	39
Tableau 11 : Nombre de consommateurs et consommations d'électricité et de gaz par secteur d'activité (2017)	43
Tableau 12 : Consommations mensuelles détaillées de carburant de Corsica Ferries et consommation potentielle de GNL pour un ferry	44
Tableau 13 : Consommation potentielle d'hydrogène pour un ferry	44

2 Introduction

2.1 Présentation de la situation étudiée

2.1.1 Périmètre de l'étude

Le périmètre de l'étude est présenté Figure 1, il comprend :

- Les ports de la rade de Toulon avec notamment le terminal de Toulon Côte d'Azur, celui de la Seyne-sur-Mer et le port de Brégaillon. **Le port militaire est exclu de la zone d'étude.**
- L'hinterland du port recouvre toute la zone entre les villes de Bandol, Signes et Hyères.

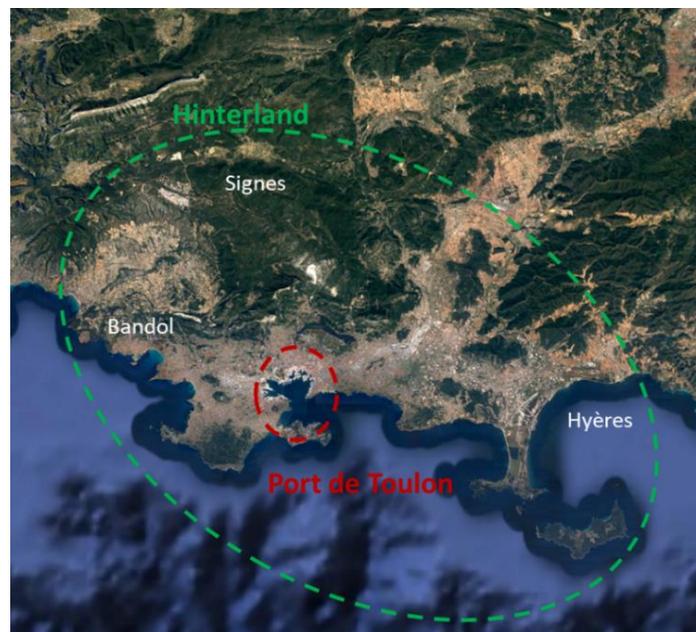


Figure 1 : Périmètre géographique de l'étude (source : Google Maps)

La CCI du Var souhaite réaliser un inventaire des flux énergétiques entre les ports de la rade de Toulon et son hinterland afin de comprendre au mieux les relations qui existent et de sensibiliser les acteurs locaux à la problématique de réduction de consommation de carburants polluants. L'étude consiste donc à déterminer les besoins énergétiques du port pour plusieurs vecteurs énergétiques : électricité, gaz, fioul... Un inventaire des consommations doit également permettre de déterminer quelles consommations peuvent être substituées par des vecteurs énergétiques moins polluants, à la fois en termes de pollution locale (émissions de particules fines, NO_x...) ou globale (CO₂). L'étude est concentrée sur le GNL, mais il pourra être pertinent de regarder globalement d'autres substitutions possibles entre vecteurs énergétiques.

2.1.2 Objectifs de l'étude d'opportunité

Les objectifs principaux de l'étude sont :

- D'établir un bilan global des besoins énergétiques du port afin de connaître le mix énergétique local, du port et de son hinterland, en intégrant les projets existants et futurs ;

- D'identifier les sites de production sur le territoire étudié et de développer des relations bénéfiques entre ceux-ci et le port (économie circulaire, réduction de l'empreinte environnementale du port...);
- D'évaluer notamment la place du GNL pour se substituer à des vecteurs énergétiques plus polluants afin de déterminer les besoins actuels et futurs, en intégrant les consommations liées au transport, mais aussi à l'industrie, en interaction avec le réseau de distribution de gaz ;
- D'établir une préfiguration du schéma directeur des flux énergétiques du port, en y intégrant le GNL, afin d'engager le port de Toulon dans une démarche de transition énergétique.

2.2 Données et documents fournis par la CCI

La CCI a fourni les documents suivants pour la réalisation de cette étude :

- Livrable T2.2.1 GNL SIGNAL « Mission d'étude territoriale et règlementaire »

Ce document présente les différentes réglementations et contraintes à respecter pour l'implantation d'installation de stockage et d'approvisionnement de GNL. En couplant les différentes contraintes il est possible de localiser les emplacements les plus favorables à l'implantation d'un stock de GNL dans la rade. En l'état actuel, la zone envisagée est située à proximité du dépôt militaire de carburants à Saint-Mandrier.

- Livrables T3.2.1, T3.3.1, T3.4.1 et T3.5.1 GNL SIGNAL

Ces documents présentent une modélisation des besoins en GNL à l'horizon 2030 sur la région PACA, dans plusieurs scénarios, en détaillant les secteurs concernés (transport maritime de marchandises, de passagers, transport routier...). Des propositions sont faites pour préciser le maillage du réseau de distribution (stations, stockage, flotte de barges...) nécessaire aux objectifs fixés.

- Livrable T2.2.1 TDI-RETE « Lignes directrices pour la localisation et le dimensionnement des installations portuaires GNL en France »

Ce document présente un état des lieux des installations GNL existantes en projet dans les différents terminaux et ports en France afin de déterminer les bonnes pratiques, les paramètres clés, techniques, réglementaires et économiques, pour établir la meilleure démarche pour le déploiement du GNL sur le port de Toulon.

- Livrable T2.2.2 GNL FACILE « Etudes pour la construction d'une filière de ravitaillement GNL entre les 7 ports partenaires - Analyse critique du ravitaillement dans les 7 ports »

Ce document présente les différentes possibilités pour l'avitaillement en GNL et les projets dans les ports partenaires. Une estimation des besoins et des coûts logistiques est proposée, en fonction notamment du trajet des navires d'avitaillement.

- Une présentation de l'étude « Electrification des navires à quai du Port de Commerce de Toulon »

Ce document présente une analyse des caractéristiques des escales des ferries de Corsica Ferries et propose une solution technique de raccordement pour l'électrification des bateaux à quai qui prend en

compte les caractéristiques des escales (puissance nécessaire, durée, nombre de bateaux à quai au même moment...).

- L'historique du trafic des croisières en 2019 (arrivées et départs) et le calendrier prévisionnel pour 2020
- L'historique du trafic des ferries de Corsica Ferries en 2018
- Les consommations annuelles de carburants des ferries de Corsica Ferries

2.3 Autres données disponibles

2.3.1 Données énergétiques en Open Data

Les données de consommation et de production locale d'électricité et de gaz à l'échelle du port sont disponibles en Open Data. Les gestionnaires des réseaux d'énergie (RTE, Enedis, GRTgaz, GRDF) fournissent les consommations énergétiques annuelles à la maille IRIS, par disposition de l'article 179 de la Loi de transition énergétique pour la croissance verte (LTECV). Les mailles IRIS sont définies par l'INSEE, elles regroupent environ 2 000 habitants. L'agrégation des données à cette échelle doit permettre de respecter la confidentialité des informations personnelles.

Enedis fournit les consommations sur le réseau basse tension et RTE donne les consommations des clients directement reliés au réseau de transport d'électricité. Même s'il n'existe qu'un seul client relié au réseau de transport dans une maille IRIS, cette information reste disponible. GRDF et GRTgaz proposent les mêmes données pour le gaz. Dans le cas de Toulon, il n'y a pas de consommateur directement relié au réseau de transport de gaz dans la zone.

Pour cette étude, on retient les 2 zones suivantes, définies comme le regroupement de plusieurs mailles IRIS. Elles sont appelées dans la suite **zone du port** et **zone du port et de son hinterland**.

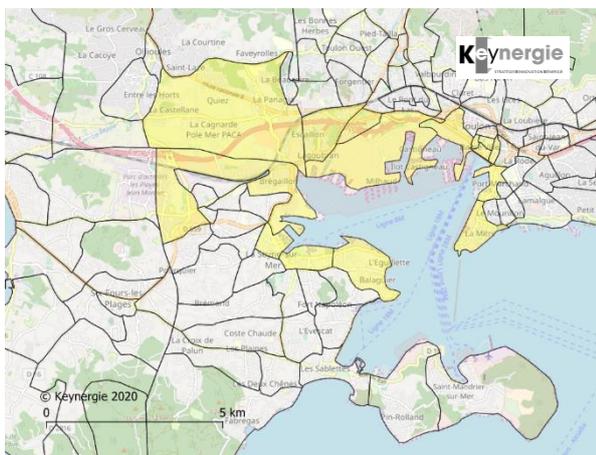


Figure 2 : Zone port seul

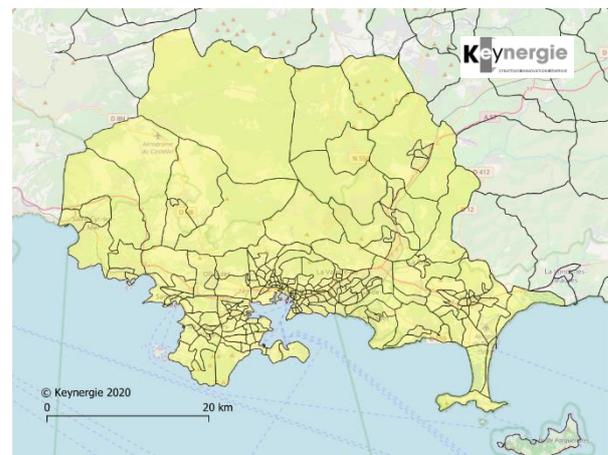


Figure 3 : Zone port et hinterland



2.3.2 Données énergétiques relatives aux carburants et au GNL

Certaines données utilisées, notamment les facteurs d'émission de CO₂, sont fournies par l'ADEME. L'ADEME fournit en effet un certain nombre d'hypothèses pour les études d'impact environnemental afin de fournir un cadre d'évaluation défini et facilement vérifiable.

D'autres données sont récupérées auprès des industriels du secteur (Air Liquide, GTT, Man Diesel & Turbo...) pour obtenir des informations de rendements énergétiques des moteurs par exemple.

3 Analyse des consommations de gaz et d'électricité

3.1 Approche

Les données annuelles de consommation à la maille IRIS sont disponibles en Open Data. Il est possible de consulter les données de consommation pour le gaz et l'électricité, ainsi que d'autres données relatives aux productions locales d'énergie (PV, éolien, biogaz...), aux réseaux, à différentes mailles géographiques (département, région, pays...) ou temporelles (jour, mois, année). Cependant, à la maille IRIS, seules les consommations annuelles, séparées par secteur d'activité, sont disponibles.

Les principaux gestionnaires de réseau disposent de leur propre plateforme, et d'autres plateformes regroupent les données de plusieurs gestionnaires, notamment celles des ELD (Entreprises Locales de Distribution) qui sont des gestionnaires de réseau très localisés (Gaz Electricité de Grenoble, Gaz et Electricité de Strasbourg, Gaz de Bordeaux...). Les données utilisées dans cette étude sont extraites des plateformes suivantes :

- Enedis : <https://data.enedis.fr/>
- GRDF : <https://opendata.grdf.fr/>
- Plateforme Open Data Réseaux Energies (ODRE) : <https://opendata.reseaux-energies.fr/>
- Agence Opérateurs de Réseaux d'Énergie : <https://opendata.agenceore.fr/>

3.2 Analyse

3.2.1 Bilan global

La zone du port consomme près de 400 GWh d'électricité et de gaz à l'année. Cela représente 10% des consommations de la zone d'étude. La consommation d'électricité est environ 2 fois plus importante que la consommation de gaz.

Dans la zone du port, la grande majorité des consommateurs répertoriés sont des consommateurs résidentiels, à près de 80% pour l'électricité (Figure 5) et 99% pour le gaz (Figure 7), mais ceux-ci ne représentent que 30% des consommations électriques (Figure 6) et 47% des consommations de gaz (Figure 8). Pour l'électricité, les secteurs tertiaire et professionnel (selon la classification donnée par Enedis) représentent 2/3 des consommations totales du port. Pour le gaz, les secteurs tertiaire et industriel représentent plus de la moitié des consommations totales du port.

Au sens d'Enedis :

- Résidentiels : sites de consommation résidentiels raccordés au réseau Enedis en basse tension (BT) de puissance souscrite ≤ 36 kVA.
- Professionnels : sites de consommation professionnels raccordés au réseau Enedis en basse tension (BT) dont la puissance souscrite est ≤ 36 kVA.
- Entreprises : sites de consommation professionnels raccordés au réseau Enedis en basse tension (BT) dont la puissance souscrite est > 36 kVA ou raccordés en HTA. Les entreprises sont ventilées dans les différentes catégories en fonction de leur secteur d'activité (code NAF)

GRDF réalise le même découpage en fonction des contrats de fourniture et des codes NAF des entreprises raccordées.

		Nombre de consommateurs répertoriés	Consommations énergétiques en MWh
Port de Toulon	Electricité	28 123	244 913
	Gaz	7 933	145 731
Port de Toulon et son hinterland	Electricité	372 429	2 588 786
	Gaz	84 422	1 196 825

Tableau 1 : Consommations énergétiques annuelles (2017)

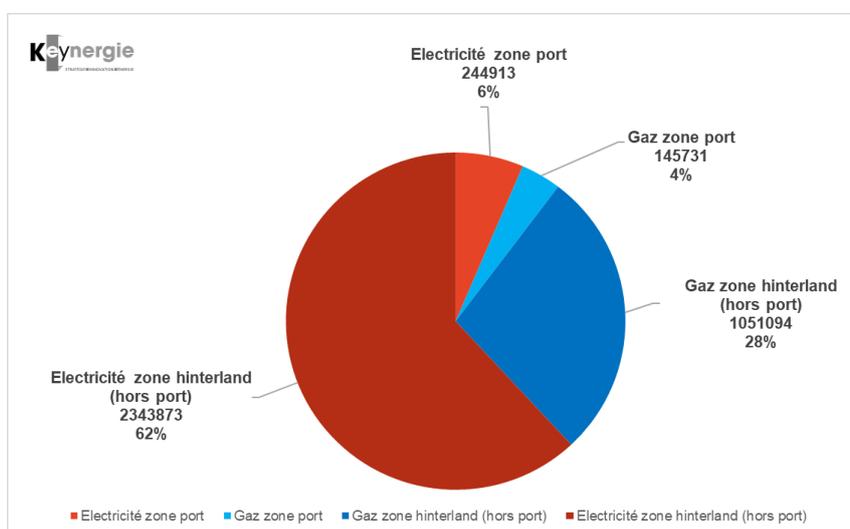


Figure 4 : Répartition des consommations entre gaz et électricité en 2017

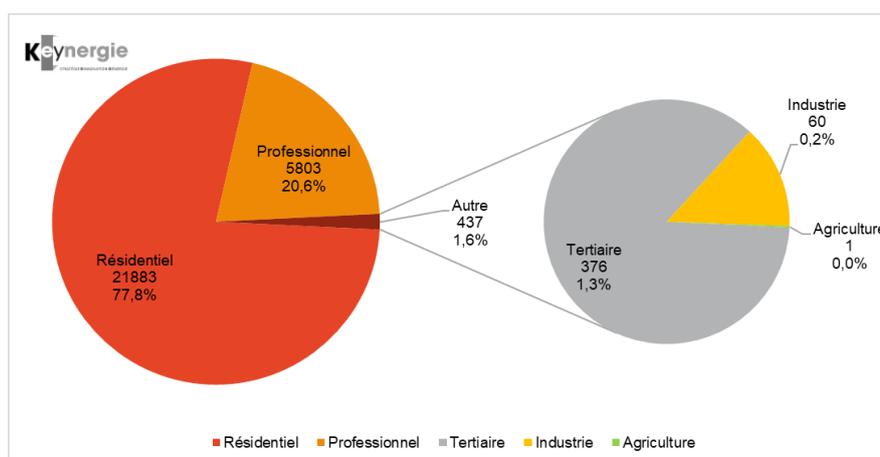


Figure 5 : Nombre de consommateurs d'électricité répertoriés par catégories dans la zone du port (2017)

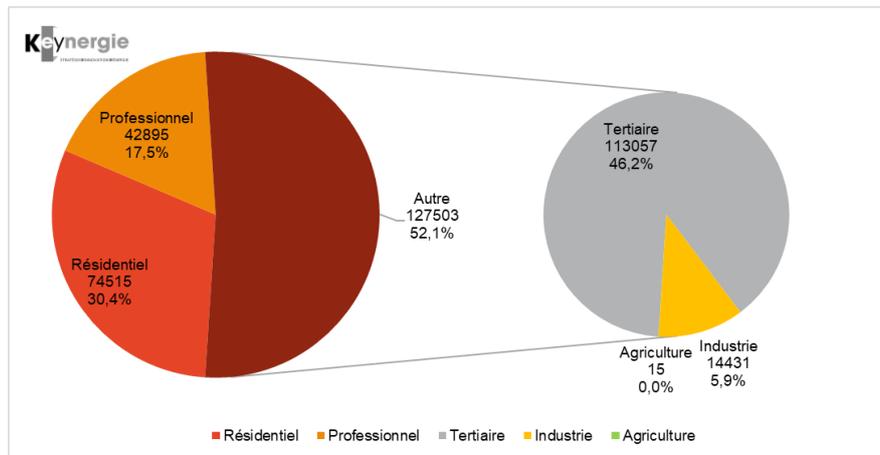


Figure 6 : Consommations annuelles d'électricité (en MWh) par catégories dans la zone du port (2017)

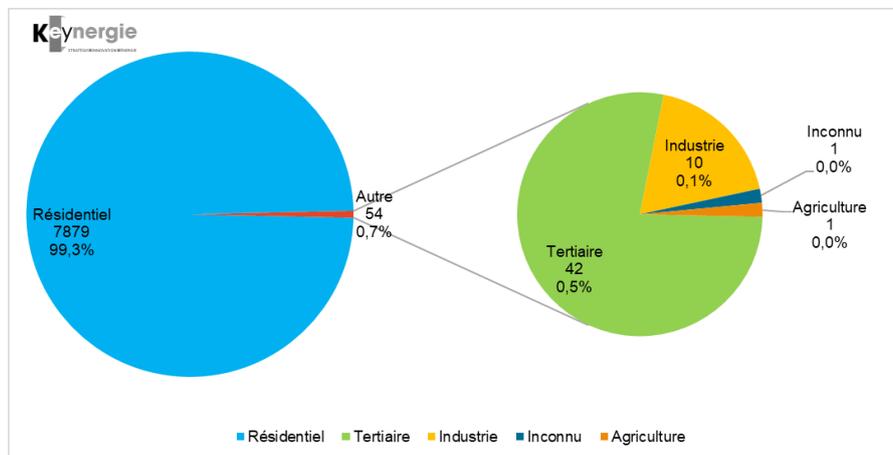


Figure 7 : Nombre de consommateurs de gaz répertoriés par catégories dans la zone du port (2017)

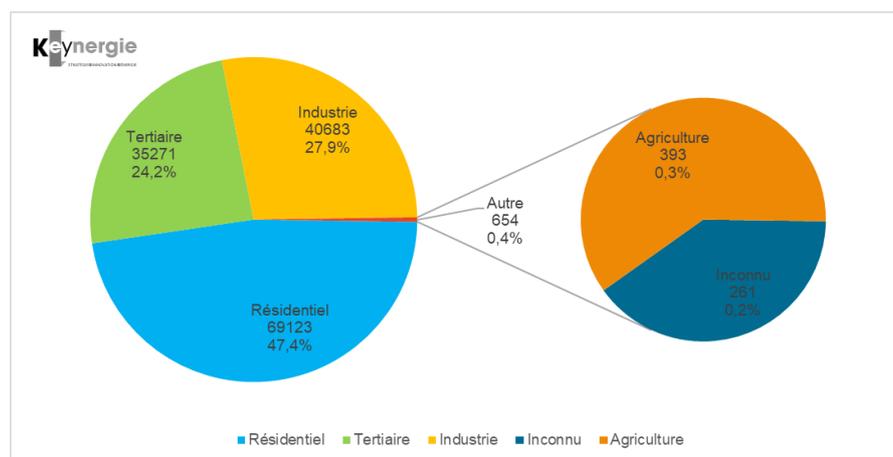


Figure 8 : Consommations de gaz (en MWh) par catégories dans la zone du port (2017)

Les graphes similaires relatifs à la zone du port et de son hinterland ainsi que le tableau détaillé des données utilisées sont fournis en Annexe (Figure 50 à Figure 53, Tableau 11) et donnent le détail du nombre de consommateurs répertoriés et des consommations par catégories, pour l'électricité et le gaz.

3.2.2 Répartition de la consommation électrique

Pour faciliter l'interprétation des résultats, les consommateurs résidentiels sont exclus de chaque maille IRIS. Sur la Figure 9, 3 ensembles de mailles fortement consommatrices sont identifiables :

- A Brégaillon, à l'Ouest de la rade, la consommation est importante là où des industriels et des entreprises sont installés.
- La zone d'activités du Castellet au Nord-Ouest consomme nettement plus que les mailles voisines, la superficie de la maille est plus grande que les autres mais elle ne recouvre pas d'autre centre de consommation important sur le plateau de Signes
- A l'Est de Toulon, 2 mailles consomment plus que les autres, on y retrouve des zones industrielles et des zones d'activités, ainsi que l'université de Toulon

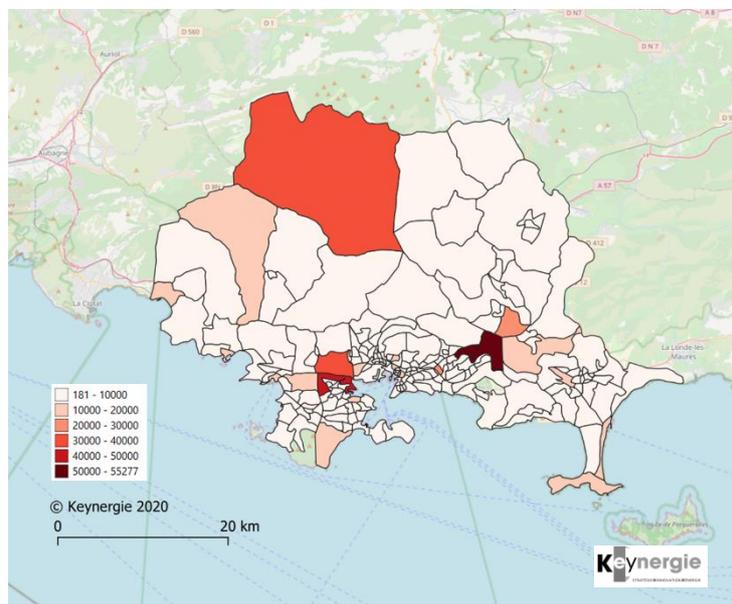


Figure 9 : Consommation électrique hors secteur résidentiel du port de Toulon et de son hinterland en 2017 (en MWh)

3.2.3 Répartition de la production électrique locale

La totalité des installations de production répertoriées dans la zone d'étude sur l'Open Data Enedis concerne des installations photovoltaïques. Rien que dans Toulon et son hinterland 3 365 installations photovoltaïques, de tailles très diverses, sont répertoriées (en 2017). Les mailles correspondant grossièrement aux villes du Castellet, de Signes et Méounes-lès-Montrieux au Nord de Toulon ont une production visiblement plus importante que les autres (voir Figure 10), on y retrouve logiquement des grands parcs photovoltaïques. Le nombre d'installations n'est pas forcément corrélé à la production de la maille (Figure 11) car la taille des installations varie énormément en fonction de la typologie des installations : toitures de particulier (typiquement 3 ou 6 kWc) ou centrales solaires avec une puissance de l'ordre de quelques MWc.

La production photovoltaïque totale est de plus de 123 000 MWh, soit l'équivalent de 4 % des consommations électriques de la zone.

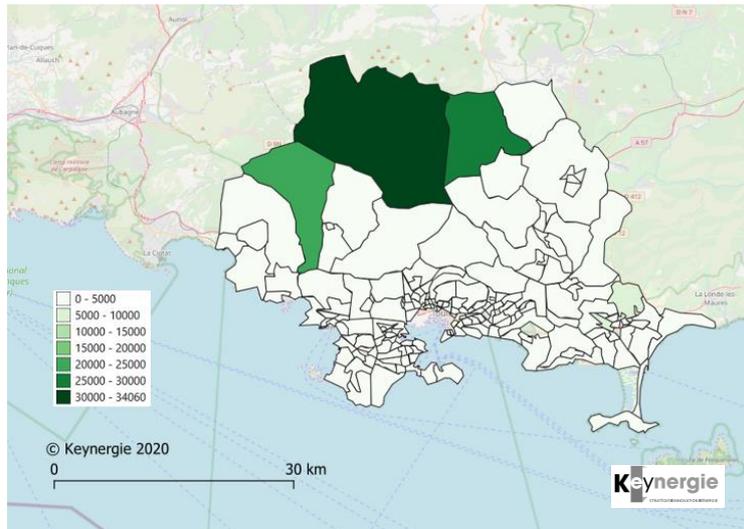


Figure 10 : Production photovoltaïque sur le réseau Enedis du port de Toulon et de son hinterland en 2017 (en MWh)

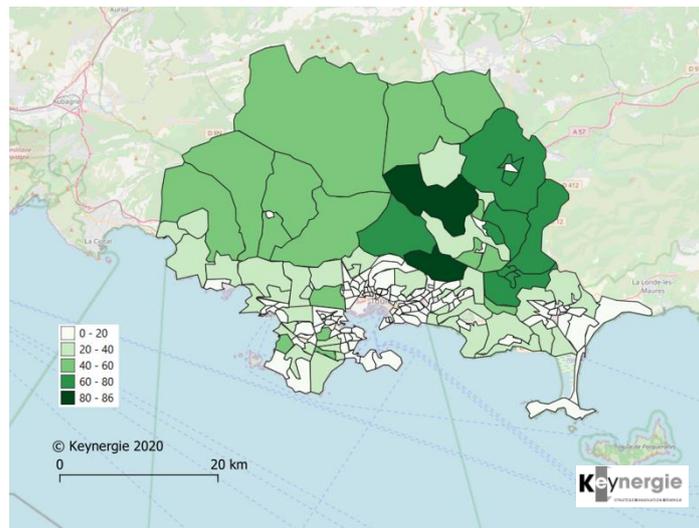


Figure 11 : Nombre d'installations photovoltaïques par maille dans la zone d'étude (2017)

3.2.4 Répartition de la consommation de gaz

Comme pour les consommations électriques, les consommateurs résidentiels sont exclus de chaque maille IRIS.

La consommation de gaz sur le réseau GRDF n'est pas uniformément répartie, beaucoup de zones d'habitations peu denses dans l'hinterland du port de Toulon ne sont pas raccordées au réseau public de distribution de gaz, comme visible sur la Figure 12.

On retrouve logiquement les mêmes zones que pour l'électricité : Brégaillon, Le Castellet et la zone industrielle à l'Est de Toulon. D'autres mailles se démarquent, notamment Saint-Mandrier et en particulier une maille à la frontière de la base navale et du port de plaisance (voir Figure 13). Celle-ci a une consommation nettement plus importante que toutes les autres de la zone d'étude, cette

consommation pourrait être liée à la base navale ou à une autre installation du port. Un inventaire des consommateurs possibles dans cette maille pourrait être intéressant.

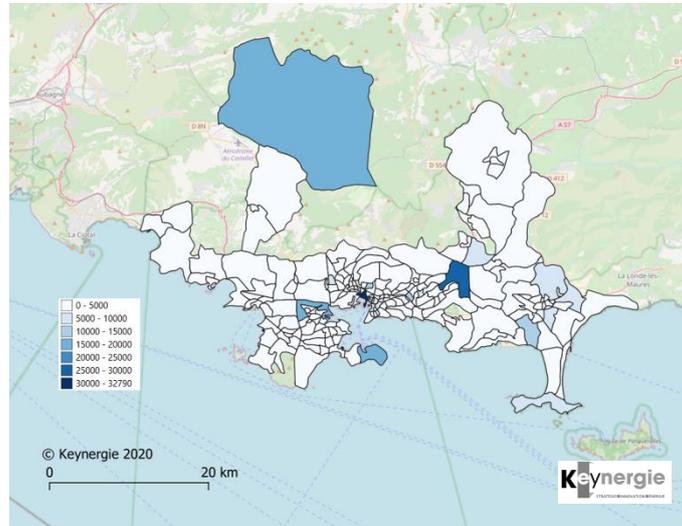


Figure 12 : Consommation de gaz hors secteur résidentiel du port de Toulon et de son hinterland en 2017 (en MWh)

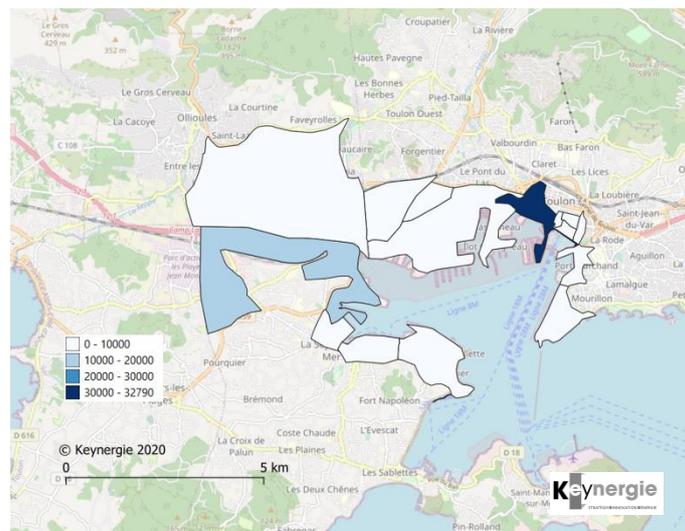


Figure 13 : Consommation de gaz hors secteur résidentiel du port de Toulon en 2017 (en MWh)

3.2.5 Production locale de gaz

Les installations de méthanisation injectant du biométhane dans le réseau de gaz est publique et disponible sur les open data GRDF et GRTgaz. Les installations les plus proches répertoriées sur ces espaces sont des installations de méthanisation à partir des boues de stations d'épuration des eaux usées (STEP) des villes de Marseille et de Fréjus (voir Figure 14). Les caractéristiques de ces installations sont données dans le Tableau 2.

Cependant, toutes les installations n'injectent pas nécessairement leur production sur le réseau de gaz. En effet, cela nécessite de purifier le gaz en sortie de méthaniseur (qui ne contient pas que du méthane). De plus, le réseau de gaz n'est pas bidirectionnel comme le réseau électrique, cela peut entraîner des

difficultés importantes. Si du gaz est injecté sur le réseau GRDF de distribution de gaz et que la consommation locale est inférieure à l'injection, il n'est pas possible d'évacuer l'excédent directement sur le réseau de transport de GRTgaz. Il faut faire appel à des installations particulières appelées « postes de rebours » qui repressurise le gaz en excès sur le réseau de distribution pour le réinjecter sur le réseau de transport. Ce type d'installations est en cours de déploiement par GRTgaz lorsque des besoins locaux importants sont détectés, mais leur nombre reste très limité et en cours de développement. Les premières installations ont été réalisées fin 2019 dans le cadre du projet West Grid Synergy porté par GRT gaz dans le Morbihan et en Vendée.

Une autre solution est donc de consommer directement le gaz pour produire de l'électricité via une turbine à cogénération par exemple et de réinjecter celle-ci sur le réseau électrique. C'est le choix fait par l'installation de La Crau à proximité de Toulon qui récupère le méthane dégagé par une ancienne décharge. Cette installation a été mise en service en 2015 et est d'une puissance de 5 MW pour une production électrique annuelle de 40 GWh.

La Métropole de Toulon envisage également de produire du biométhane à partir de la STEP de l'Almanarre, située sur la commune de Hyères, aucune donnée précise n'a pu être récupérée.

	Date de première injection	Quantité annuelle injectée (2019)
STEP Marseille (9 ^e arrondissement)	29/01/2019	19 454 MWh
STEP du Reyran à Fréjus	18/03/2019	5 694 MWh

Tableau 2 : Caractéristiques des installations de méthanisation répertoriées sur l'open data GRDF

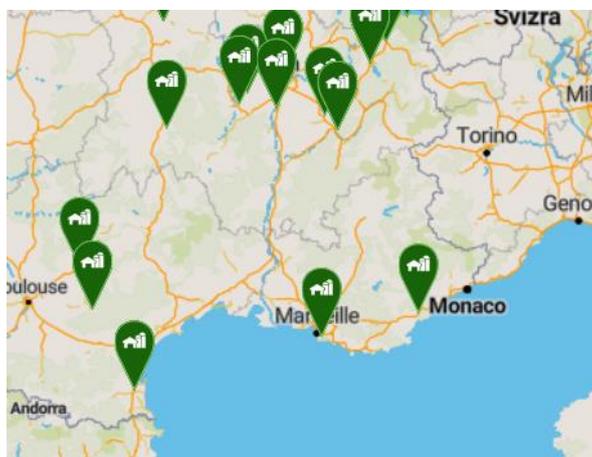


Figure 14 : Installations de méthanisation répertoriées par GRDF (image extraite de l'open data GRDF)

3.2.6 Interaction entre la production locale de biométhane et GNL

Le GNL reste à ce jour un vecteur énergétique fossile, il est surtout utilisé pour transporter le gaz naturel sur de grandes distances depuis les pays producteurs vers les pays consommateurs lorsque des gazoducs ne sont pas envisageables. La production mondiale de GNL est de 354,7 millions de tonnes (795,3 millions de m³ à l'état liquide). Les principaux pays producteurs de GNL sont le Qatar (21,9%), l'Australie (21,3%), les Etats-Unis (9,5%) et la Russie (8,2%).

Le terminal méthanier de Fos-sur-Mer (Fos Cavaou et Fos Tonkin) est l'un des seuls points de réception de GNL pour la France et l'Europe. Les autres terminaux méthaniers français sont Montoir-de-Bretagne (Saint-Nazaire) et Dunkerque. Il en existe une vingtaine en Europe.

Il existe plusieurs process pour produire localement du gaz vert (méthane) qui peut éventuellement être ensuite liquéfié pour en faire du bioGNL :

- La **méthanisation**, permet d'obtenir du méthane à partir de matière organique (souvent des boues de stations d'épuration ou des résidus agricoles d'élevage ou de cultures). En France, dans le cadre du projet BioGNVAL, mené par Engie à Valenton dans le Val-de-Marne la liquéfaction du gaz à petite échelle est expérimentée pour produire du Bio GNL.



Figure 15 : Photo de l'installation BioGNVAL (source : ADEME)

- La **méthanation d'hydrogène vert**, il est possible de produire du méthane par une réaction de synthèse entre l'hydrogène (produit par électrolyse de l'eau) et du monoxyde ou dioxyde de carbone (récupéré auprès des fumées de combustion d'un consommateur industriel par exemple). Le projet Jupiter 1000 à Fos-sur-Mer expérimente cette voie pour produire du méthane qui sera ensuite réinjecté dans le réseau de gaz (Ici pas de liquéfaction).
- La **pyrogazéification**, en chauffant à haute température (jusqu'à 1500°C) des matières carbonées (biomasse, déchets, souvent du bois de récupération ou des déchets plastiques) avec peu d'oxygène il est possible de produire un gaz de synthèse (syngaz) riche en hydrogène et en monoxyde de carbone. Par méthanation, il est ensuite possible de convertir ce gaz de synthèse en méthane. Cette technologie reste émergente.

En résumé on retiendra qu'il existe plusieurs procédés permettant de produire du biométhane. Néanmoins, l'utilisation de ce biométhane sous forme de bioGNL n'est pas privilégié par les mécanismes d'aide, par exemple les appels à projet de l'ADEME sur la méthanisation n'incluent que les installations de méthanisation qui réinjectent le gaz dans le réseau ou qui le valorisent en cogénération. De plus, la production de GNL à partir de ces productions à petite échelle est encore un défi économique. En effet, la construction d'installations de liquéfaction de petite taille pénalise le coût de revient et donc la compétitivité économique du GNL produit, c'est la raison pour laquelle le GNL reste à ce jour une énergie fossile produite de façon centralisée.

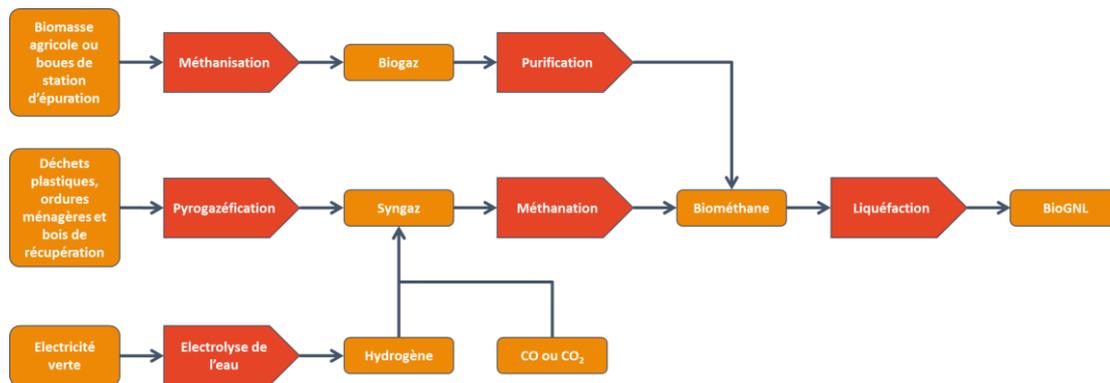


Figure 16 : Schéma des 3 filières de production de bioGNL

3.3 Conclusions sur les consommations d'énergies de la zone

Conclusion préliminaire

Sur le territoire étudié on peut identifier 3 zones fortement consommatrices d'énergie, (électricité et gaz) : Brégaillon, Le Castellet et une zone d'activité à l'Est de Toulon. Ces zones de fortes consommations regroupent principalement des industriels et des consommateurs tertiaires. Ceux-ci représentent un enjeu majeur dans l'objectif de transition énergétique et écologique du port.

La transition énergétique du territoire passe par une implication accrue de ces acteurs qui peuvent mettre en œuvre des actions à fort impact : réduction de consommation, production locale à partir des terrains et des toitures de bâtiments disponibles, boucles locales de coopération et d'économie circulaire entre consommateurs proches.

L'analyse des consommations de ces acteurs à des échelles de temps plus fines (avec leur consentement) et des ressources permettra de faire émerger des projets de transition énergétique innovants. Le projet HYNORVAR qui crée une coopération entre plusieurs parties du territoire est une illustration de la typologie de projet qui pourrait émerger. Pour s'assurer du succès de ces initiatives, il faut clarifier les relations entre les acteurs : qui produit l'énergie, qui produit l'hydrogène, qui transporte l'hydrogène, comment se répartit la production et les rémunérations entre les acteurs...etc.

Il est donc essentiel de réaliser un inventaire précis des principaux consommateurs dans ces zones et de les contacter pour tenter de les impliquer dans des projets de territoire et de faire émerger des coopérations possibles.

Les données, qui pourront être récupérées auprès de ces acteurs avec leur consentement, et les analyses qui pourront être réalisées à partir de ces données permettront d'une part d'améliorer l'efficacité énergétique de ces consommateurs et d'autre part de développer une compréhension plus fine des comportements à l'échelle de la zone du port et de son hinterland. Ces étapes sont indispensables pour identifier les actions et projets à lancer.

4 Analyse du trafic des navires

4.1 Approche

A partir de l'historique complet des escales au port de Toulon qui a été fourni, une analyse de la typologie du trafic des bateaux de Corsica Ferries et des bateaux de croisière a été réalisée. L'analyse se fait principalement en triant les données de plusieurs manières pour voir apparaître les caractéristiques principales du trafic. Ces résultats permettront d'estimer l'impact des ferries et des navires de croisières sur les flux énergétiques de la zone et les potentiels besoins d'approvisionnement en GNL.

4.2 Analyse du trafic des ferries

A partir de l'historique des escales de Corsica Ferries, plusieurs points peuvent être mis en avant.

- Le nombre d'escales est près de 3 fois plus important en été qu'en hiver (Figure 17)

Cela est cohérent étant donné que les traversées sont liées aux périodes de vacances. Du point de vue de la logistique d'avitaillement en carburants, l'intégration du GNL pourra complexifier la gestion des livraisons en barge, en passant de 2 à 3 types de carburants différents, en particulier en été.

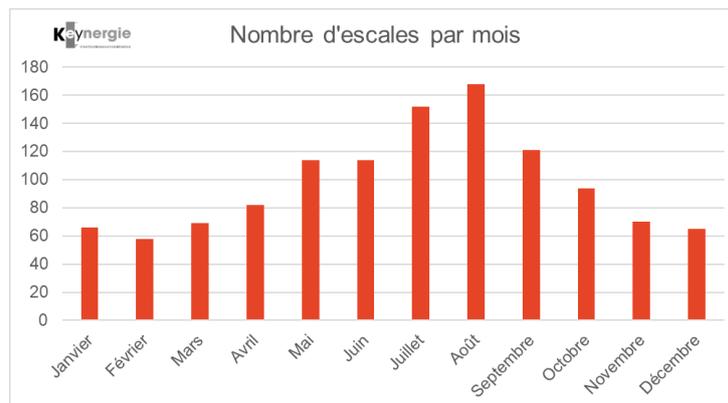


Figure 17 : Nombre mensuel d'escales de ferries au port de Toulon

- Les liaisons vers la Corse représentent plus de 80% des trajets à l'année et la totalité des trajets en basse saison, d'octobre à mars (Figure 18 et Figure 19)

Les durées des traversées annoncées par Corsica Ferries étant sensiblement identiques pour les différentes destinations de Corse et de Sardaigne, on peut estimer que la consommation énergétique moyenne des bateaux varie peu, à part en été, où les liaisons avec les Baléares augmentent légèrement la consommation mensuelle de carburant (Figure 20). En effet, celle-ci est calculée à partir de la consommation annuelle, répartie en fonction du nombre de trajets à destination de Toulon par mois, pondéré par leur durée.

Cette approche revient à affecter la consommation de carburants des ferries à leur port d'arrivée, la destination des ferries partant de Toulon n'entre pas dans le calcul. Autrement dit, cela revient à considérer que les ferries font le plein à chaque escale pour remplacer le carburant qu'ils ont consommé pour le trajet qu'ils viennent de terminer.

Toutefois, de manière exacte, il faudrait pondérer leur trajet par la durée totale depuis leur dernier ravitaillement, pour que cela corresponde au volume de carburant ajouté dans le réservoir des ferries. Cependant, il n'est pas possible d'extraire cette information à partir des données fournies. La quantité totale de carburants consommée par les ferries reste toutefois inchangée (total fourni par Corsica Ferries), l'impact de cette hypothèse reste donc surement limité.

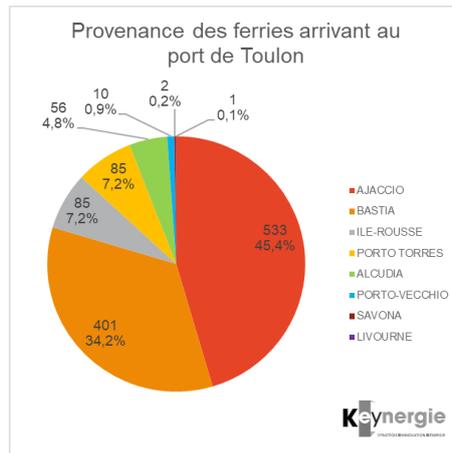


Figure 18 : Répartition des provenances des ferries arrivant au port de Toulon

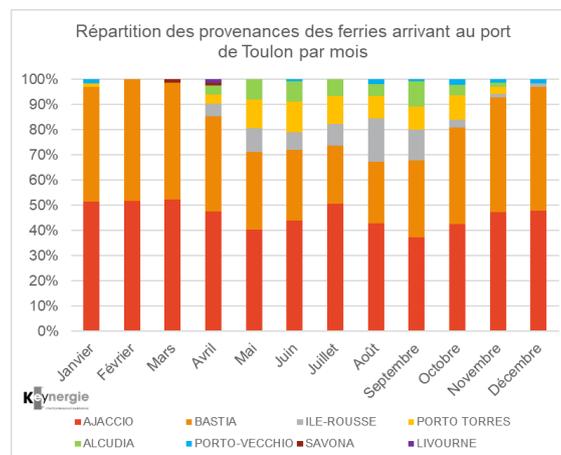


Figure 19 : Répartition mensuelle des provenances des ferries arrivant au port de Toulon

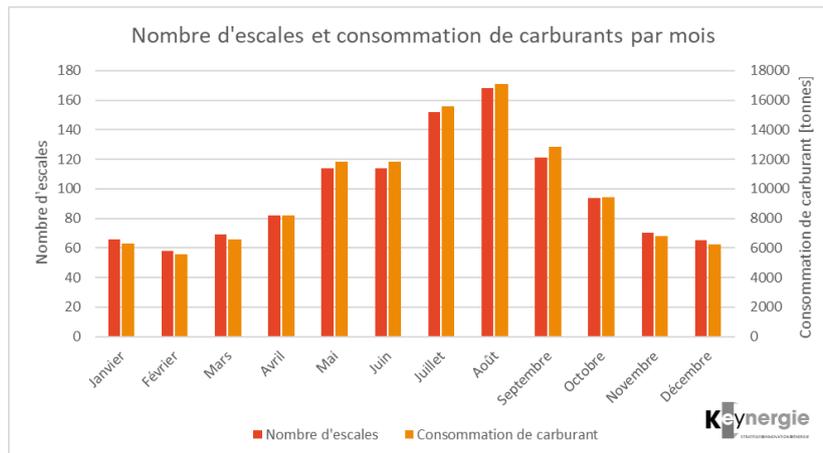


Figure 20 : Nombre d'escales et consommation de carburants par mois

- Tous les bateaux de Corsica Ferries ne sont pas sollicités de la même manière pour les trajets depuis et vers Toulon

Certains bateaux de Corsica Ferries ne s'arrêtent pas à Toulon toute l'année (Figure 21), parmi les 8 qui desservent le port, et le nombre d'escales par bateau n'est pas nécessairement constant ou prévisible (Figure 22) au cours de l'année. Il n'est pas possible de connaître uniquement à partir de ces informations les rotations des bateaux. Par exemple, certains ferries pourraient être affectés à une liaison fixe entre Toulon et un port de Corse ou à une rotation entre la Corse et plusieurs ports du continent (Toulon et Nice par exemple) en fonction de la demande. Cependant, dans l'hypothèse où Corsica Ferries ne remplacerait qu'un de ses bateaux par un bateau GNL, il serait impératif que le bateau puisse se réapprovisionner en GNL au port de Toulon régulièrement. Dans la suite, pour simplifier l'étude, on considérera donc qu'un bateau GNL représente 1/8^e des consommations mensuelles.

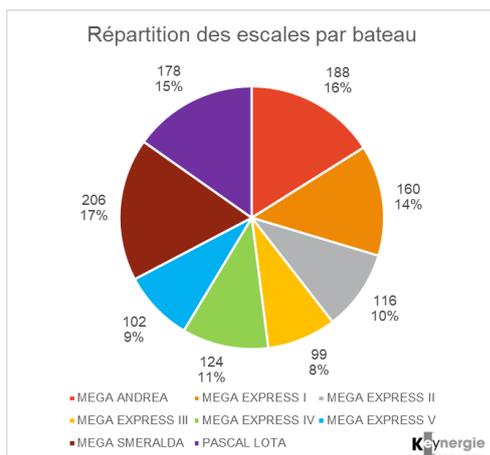


Figure 21 : Répartition des escales par bateau

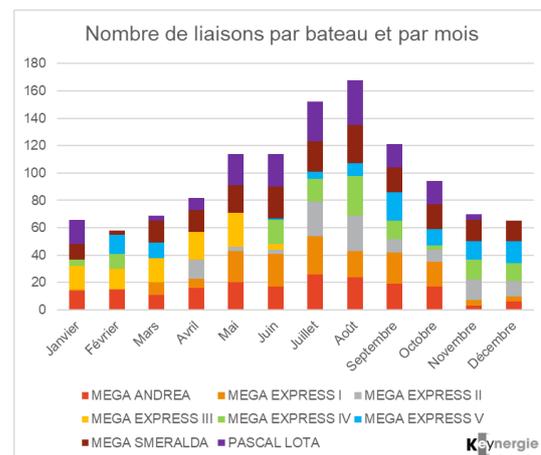


Figure 22 : Nombre de liaisons par bateau et par mois

Les escales se répartissent en très grande majorité en 2 groupes : les escales courtes (moins de 4h) et les escales longues (plus de 16h) comme visibles sur la Figure 24 et la Figure 25

Il est à noter que le décompte réalisé ici ne correspond pas au décompte réalisé dans l'étude pour l'électrification des navires à quai, alors que les données d'entrée sont a priori les mêmes. On compare

dans la suite les résultats obtenus. Après recherche, il semblerait que la raison des différences observées avec l'étude précédente vient du fait que, dans celle-ci, seules les heures d'arrivée et de départ ont été considérées, et non l'horaire exact (12h au lieu de 12h25 par exemple). Cela peut dans certains cas fausser les résultats obtenus, mais cela ne remet a priori pas en cause les conclusions générales de l'étude, les caractéristiques générales retenues pour le dimensionnement des installations de raccordement restant identiques. On donne dans la suite quelques graphes corrigés (Figure 26 et Figure 28 extraites de l'étude pour l'électrification des quais, Figure 27 et Figure 29 pour les graphes équivalents corrigés par Keynergie). Les autres graphes n'ont pas été remis à jour.

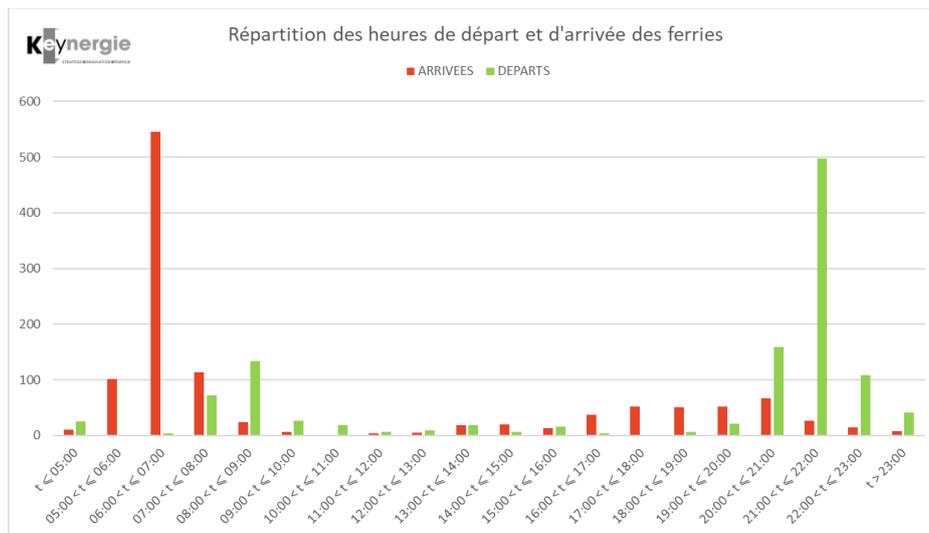


Figure 23 : Répartition des horaires de départ et d'arrivée des ferries



Figure 24 : Répartition des durées d'escale

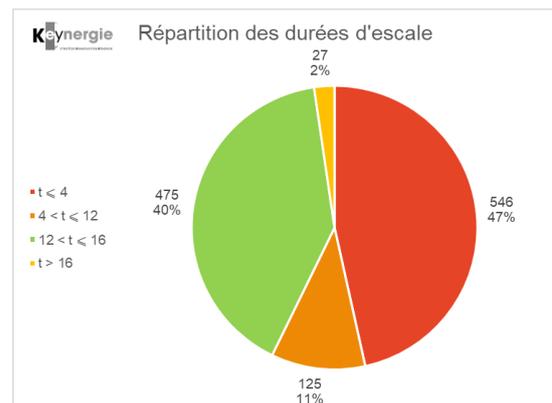


Figure 25 : Répartition des durées d'escale par catégorie

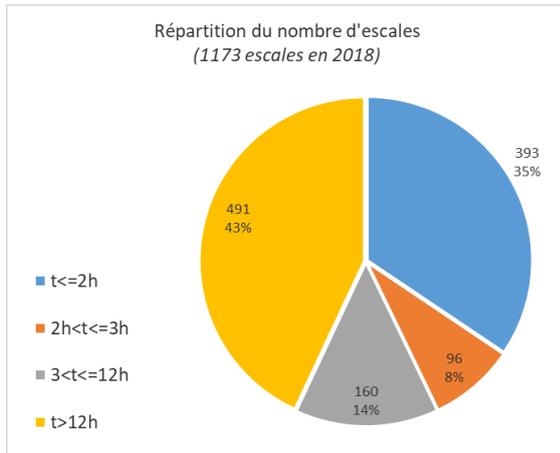


Figure 26 : Nombre d'escales par durée (extrait de l'étude électrification des bateaux à quai)

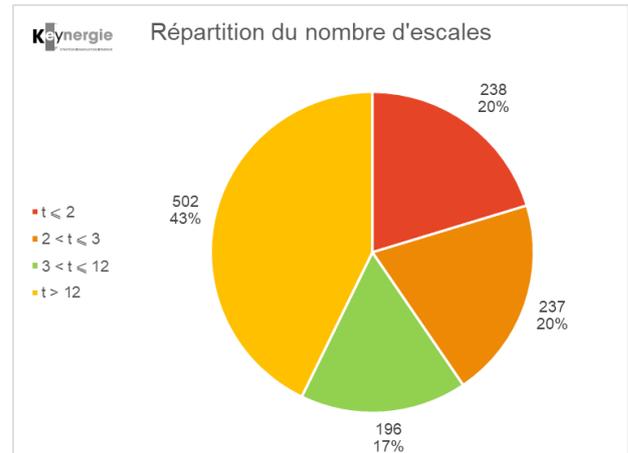


Figure 27 : Nombre d'escales par durée (résultats Keynergie avec paramètres identiques)

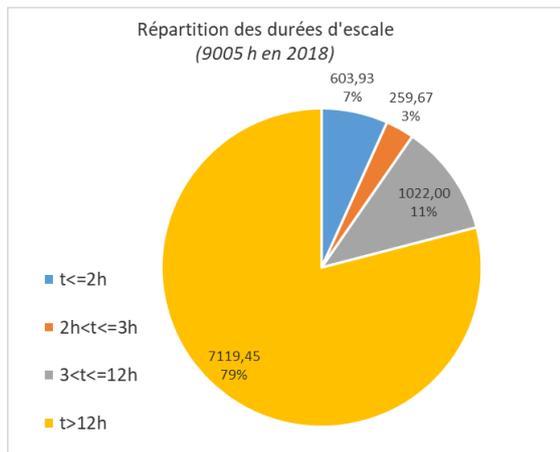


Figure 28 : Sommes des durées d'escale par type (étude électrification des bateaux à quai)

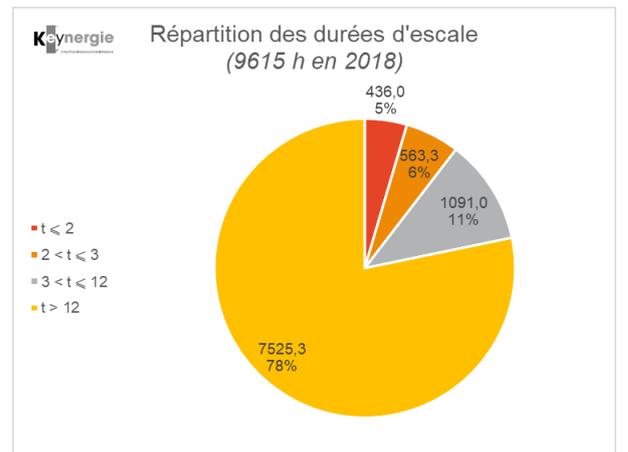


Figure 29 : Sommes des durées d'escale par type (résultats Keynergie avec paramètres identiques)

4.3 Analyse du trafic des bateaux de croisière

Le même travail est réalisé pour les bateaux de croisière, les données sont ici celles de l'année 2019, contrairement aux ferries où les données fournies étaient celles de l'année 2018. Dans la suite, on supposera qu'aucune évolution majeure n'a eu lieu entre ces 2 années pour que l'on puisse comparer les trafics des 2 types de navires.

Les caractéristiques principales du trafic des bateaux de croisière sont les suivantes :

- Il y a **plus de bateaux en période estivale mais la saison dure jusqu'en octobre** : Sur la Figure 30, on voit que le nombre mensuel de bateaux de croisière qui font des escales à Toulon est important de Mai à Octobre.

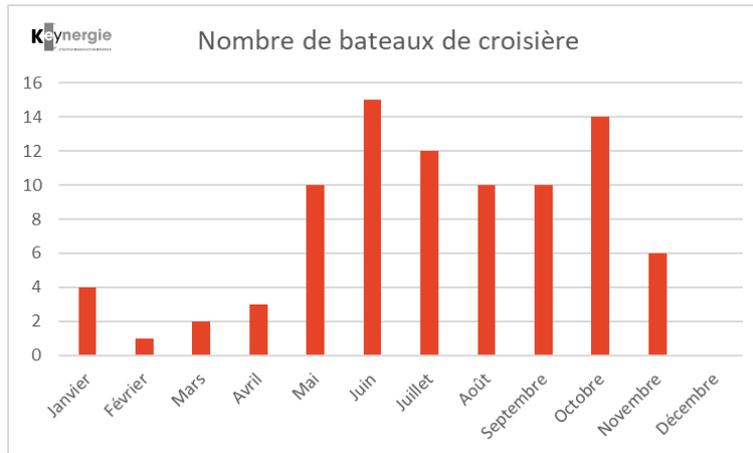


Figure 30 : Nombre mensuel de bateaux de croisières en 2019

- **Les bateaux restent à quai la journée** : Sur la Figure 31 et la Figure 32 on voit que la totalité des bateaux arrivent le matin avant 09h00 et repartent le même jour en fin de journée, après 16h00.

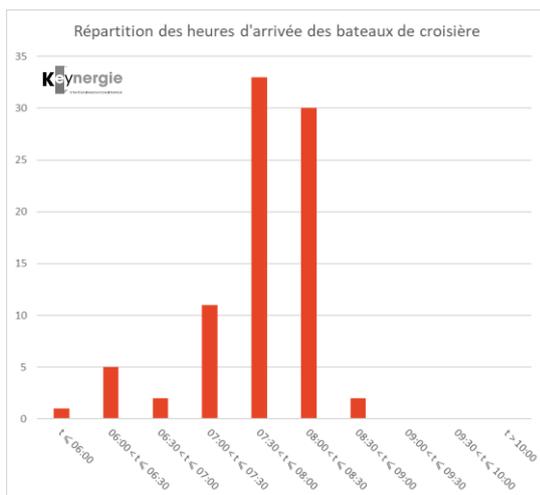


Figure 31 : Horaires d'arrivée des bateaux de croisière

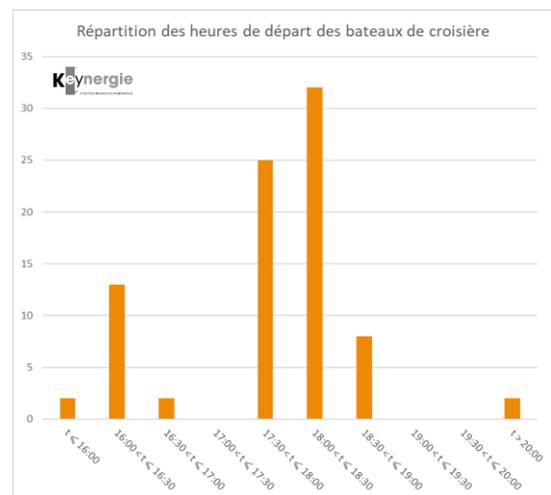


Figure 32 : Horaires de départ de bateaux de croisière

- Beaucoup de compagnies et de navires différents peuvent accoster à Toulon, seuls 2 bateaux visitent plus d'une dizaine de fois par an le port de Toulon (Figure 33 et Figure 34).

Cela peut influencer la stratégie à adopter pour construire une planification GNL pour les bateaux de croisière. En effet, il paraît difficile de convaincre des compagnies de convertir leurs navires au GNL s'ils ne s'arrêtent à Toulon qu'une ou deux fois par an. A l'inverse, les compagnies Marella Croises et Costa Croisières pourraient être intéressées et il serait sûrement pertinent de les inclure dans des réflexions pour construire des projets communs de déploiement de GNL sur le port de Toulon.

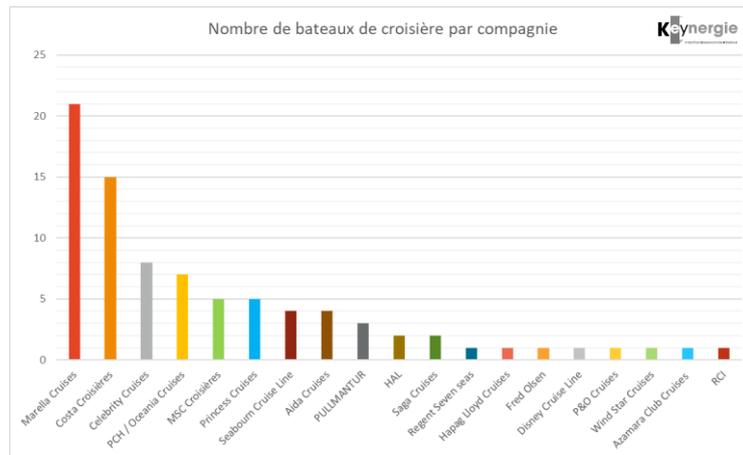


Figure 33 : Nombre d'escales par compagnie

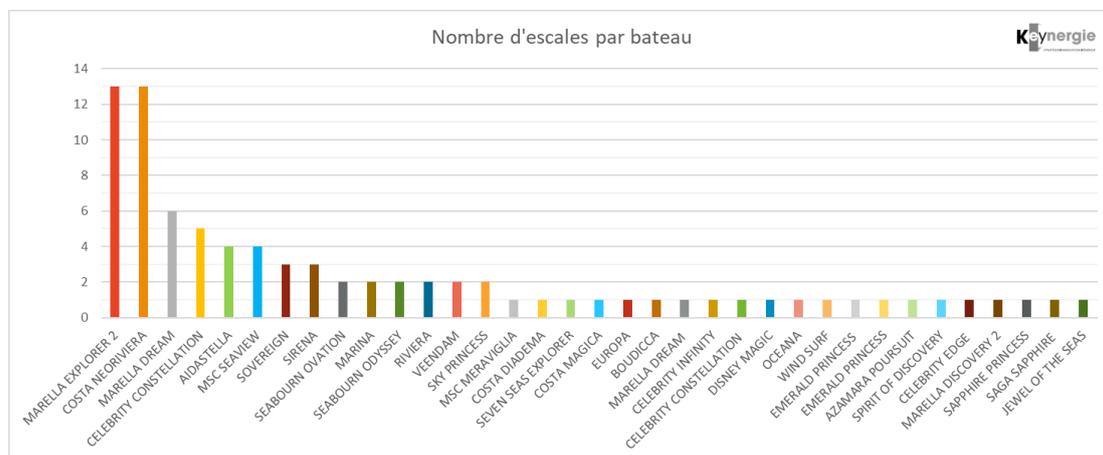


Figure 34 : Nombre d'escales par bateau de croisière

4.4 Conclusions

L'analyse du trafic des ferries permet d'en ressortir les caractéristiques principales : une prédominance des liaisons régulières avec la Corse, un trafic nettement plus important en période estivale et des rotations entre les navires difficilement prévisibles.

Pour compléter cette analyse il pourrait être utile d'intégrer les évolutions récentes du trafic et les projets de Corsica Ferries : augmentation ou diminution du trafic, nouvelles dessertes et destinations...

Dans le cas d'une conversion d'un ferry au GNL, il faudrait connaître la stratégie d'avitaillement envisagée par Corsica Ferries, pour que celle-ci corresponde à ses contraintes opérationnelles et techniques.

Pour les bateaux de croisière, on remarque que beaucoup de bateaux ne s'arrêtent qu'une ou deux fois par an. Seuls 2 bateaux s'arrêtent régulièrement dans la saison estivale, Marella Cruises et Costa Croisières, qui exploitent ces navires, sont les compagnies de croisière les plus actives sur Toulon. Un ciblage de ces compagnies semble indispensable pour recueillir un engagement ferme sur la conversion d'un navire.

5 Estimation de la consommation de GNL

5.1 Approche

Corsica Ferries a fourni la consommation annuelle de carburants pour ses ferries, en distinguant les 2 types de carburants utilisés (fioul lourd et diesel marine léger), ainsi que le planning complet des escales de ses bateaux. Pour reconstituer une consommation mensuelle de carburants, ou hebdomadaire, nous considérons le nombre de trajets dans le même mois et chaque trajet est pondéré par le nombre d'heures de trajet depuis son port de départ, considéré comme proportionnel à sa consommation de carburant en première approche. Il est ainsi possible de reconstituer une consommation mensuelle de carburants. En se basant sur des données de consommation énergétique de ferries de taille comparable, il est possible de convertir des besoins de carburants, exprimés initialement en tonnes, en besoins d'énergie, en MWh par exemple. Cela permet de manipuler plus facilement ces grandeurs et de les convertir en d'autres vecteurs énergétiques équivalents.

Pour les navires de croisière, la CCI a fourni les informations des escales mais nous n'avons pas accès aux consommations de ces bateaux car jusqu'à maintenant ceux-ci ne s'avitailent pas à Toulon, on repose donc sur des hypothèses de ravitaillement en GNL par escale de ce type de bateau.

Pour les camions, on fait également des hypothèses sur le nombre de camions convertis, les consommations étant extraites des études précédentes sur le GNL.

On traduit finalement ce besoin d'énergie en besoin de GNL, et on estime le flux logistique correspondant (nombre de barges, de conteneurs sur camions ou sur train) en fonction de plusieurs hypothèses.

5.2 Consommation des ferries

5.2.1 Données et hypothèses

	Fioul lourd	Diesel Marine Léger	GNL
Masse volumique en kg/m ³	995 ¹	890 ¹	445 ¹
Consommation spécifique en kg/kWh	0,1905 ²	0,175 ²	0,1423 ²
Volume d'une barge de transport GNL en m ³	3 000		
Volume d'un conteneur de transport GNL en m ³	46		

Tableau 3 : Données et hypothèses relatives aux carburants utilisés par les ferries et au GNL

5.2.2 Résultats

Avec ces hypothèses, la consommation annuelle de GNL est estimée à 11 125 tonnes pour un ferry converti au GNL. Cela représente 25 000 m³ de GNL, soit 8,3 barges ou 544 conteneurs standards à

¹ Données issues de la loi de finances énergie environnement, Chambre syndicale du Raffinage (CSR), spécifications légales des carburants

² Données issues de MAN Diesel & Turbo et du International Council of Clean Transportation (ICCT) d'après données constructeurs

l'année. En prenant en compte la variation saisonnière de la consommation, cela correspond à environ 1 barge par mois ou 70 conteneurs en été et 0,4 barges ou 30 conteneurs par mois en hiver (Figure 35 à Figure 37).

Consommation annuelle de GNL en tonnes	11 125
Volume équivalent en m ³	25 000
Nombre équivalent de barges	8,3
Nombre équivalent de conteneurs	544

Tableau 4 : Récapitulatif de la consommation de GNL pour un ferry

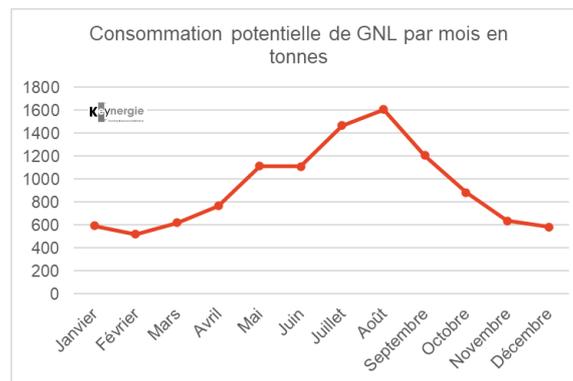


Figure 35 : Consommation potentielle de GNL par mois pour un ferry en tonnes

Les graphes suivants présentent les mêmes données que le graphe précédent mais présentées dans une unité différente pour plus de lisibilité.

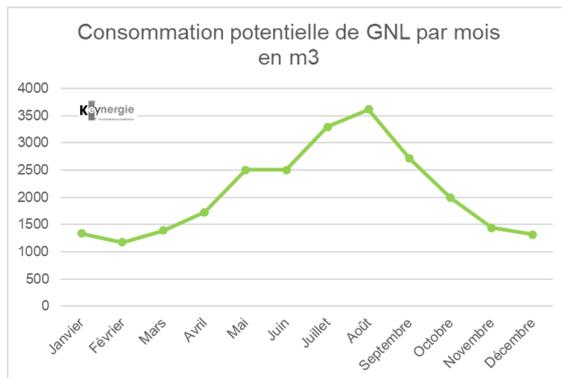


Figure 36 : Consommation potentielle de GNL par mois pour un ferry en m³

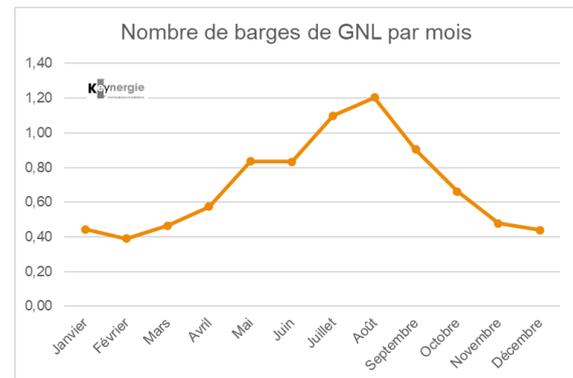


Figure 37 : Consommation potentielle de GNL par mois pour un ferry en nombre de barges

5.3 Consommation des bateaux de croisière

On fait l'hypothèse que chaque bateau de croisière converti au GNL qui ferait escale au port de Toulon s'avitailler à hauteur de 3000 m³ de GNL. Cette hypothèse a été fournie par la CCI et devra éventuellement être ajustée en fonction des caractéristiques exactes des bateaux de croisière convertis.

On considère que seulement le bateau qui fait le plus d'escale de Toulon est converti au GNL, on peut choisir les données d'escale du Marella Explorer 2 ou du Costa Neoriviera avec 13 escales par an chacun. On choisit le Costa Neoriviera qui ne s'arrête à Toulon que de Juin à Octobre (2 ou 3 escales par mois)

alors que le Marella Explorer 2 circule d’Avril à Octobre (1 ou 2 escales par mois), ce qui est moins pénalisant pour la logistique d’approvisionnement.

Avec ces hypothèses, la consommation annuelle de GNL pour un bateau de croisière est estimée à 17 355 tonnes. Cela représente 39 000 m³ de GNL, soit 13 barges ou 848 conteneurs standards à l’année. Avec les hypothèses retenues, chaque escale correspond exactement à l’avitaillement d’une barge GNL complète. On voit que, même si le bateau de croisière réalise beaucoup moins d’escales au port de Toulon, il consomme toutefois une quantité plus importante de carburant par rapport à un ferry. En effet, les navires de croisière sont plus grands et proposent plus de services à leurs passagers, ce qui implique des consommations énergétiques plus importantes.

Pour résumer, on obtient les résultats suivants :

Consommation annuelle de GNL en tonnes	17 355
Volume équivalent en m ³	39 000
Nombre équivalent de barges	13
Nombre équivalent de conteneurs	848

Tableau 5 : Besoins de GNL pour un bateau de croisière

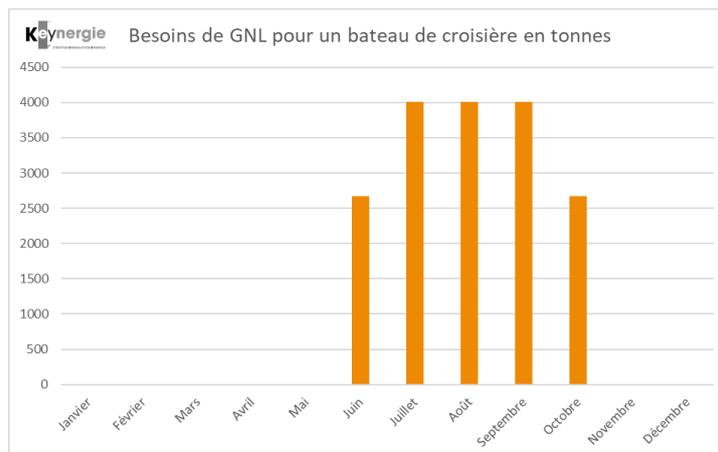


Figure 38 : Besoins de GNL pour un bateau de croisière (en tonnes)

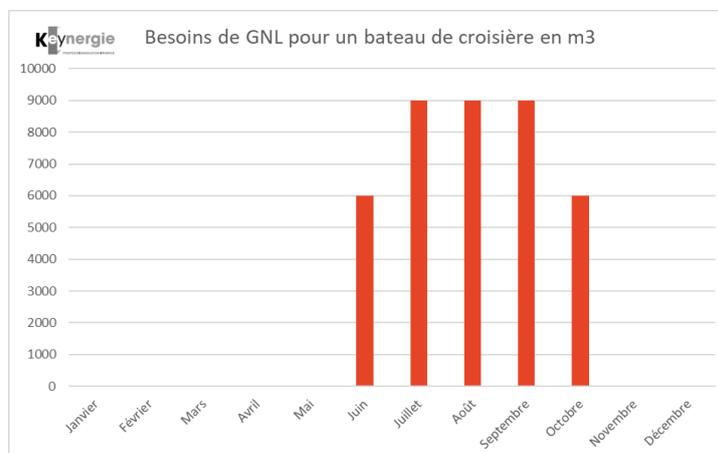


Figure 39 : Besoins de GNL pour un bateau de croisière (en m³)

5.4 Consommation des camions

L'étude SIGNAL détaille des hypothèses sur des besoins d'une flotte de camions GNL à l'horizon 2030 et sur la région Provence-Alpes-Côte-D'azur. Cette étude prévoit ainsi des besoins annuels compris entre 40 000 et 80 000 tonnes de GNL pour environ 2 300 camions. Toutefois le cadre de la présente étude est plus concentré sur le port de Toulon et ses environs, et non toute la région. **On retient donc l'hypothèse de 100 camions convertis au GNL qui s'avitaileraient dans la zone d'étude.** Cette hypothèse est cohérente avec l'hypothèse de déploiement d'une station GNL pour camion en 2030 à Toulon, qui permettra de convaincre plusieurs industriels de la zone de convertir une partie de leur flotte au GNL à partir de cette date.

Ces consommations sont supposées constantes dans l'année et non soumises à la saisonnalité.

La quantité de GNL consommée par les camions est de près de 3 500 tonnes, cette quantité est beaucoup plus faible que les quantités nécessaires pour les navires, ferries ou bateaux de croisière. Toutefois, cela représente tout de même l'équivalent de 170 conteneurs par an, soit environ 3 par semaine, qui devront alimenter la station GNL.

Consommation annuelle de GNL en tonnes	3 455
Volume équivalent en m ³	7 763
Nombre équivalent de barges	2,6
Nombre équivalent de conteneurs	169

Tableau 6 : Besoins de GNL pour les camions

5.5 Consommation totale

On présente la somme des consommations précédentes en retenant les hypothèses suivantes :

- 2 bateaux Corsica Ferries au GNL
- 1 bateau de croisière au GNL
- 100 camions au GNL

Les consommations totales dans ce scénario sont donc de plus de 43 000 tonnes, ou près de 100 000 m³. Les 2 ferries représentent la moitié des besoins et le bateau de croisière 40% des besoins. La saisonnalité, et en particulier les escales des bateaux de croisière concentrée en été impactent beaucoup les flux de GNL consommés, et atteignent plus de 7 000 tonnes en période estivale, contre environ 1 500 en basse saison.

Consommation annuelle de GNL en tonnes	43 059
Volume équivalent en m ³	96 762
Nombre équivalent de barges	32,3
Nombre équivalent de conteneurs	2 104

Tableau 7 : Besoins de GNL dans le scénario retenu

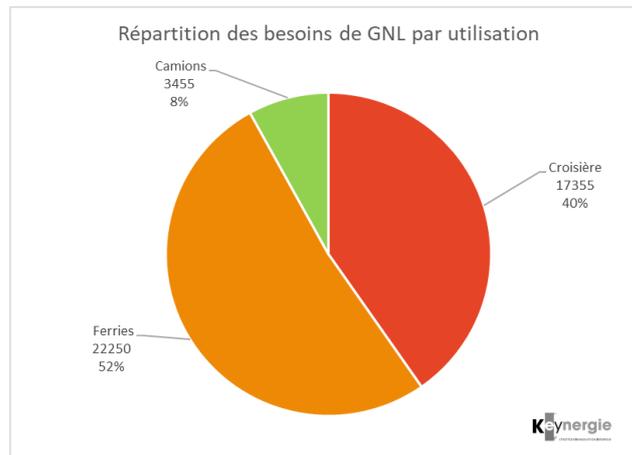


Figure 40 : Répartition des besoins de GNL par utilisation

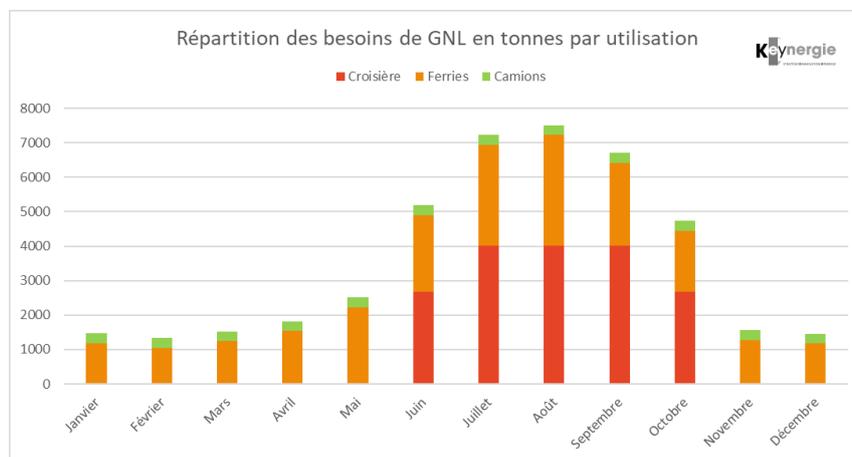


Figure 41 : Flux mensuel en tonnes des consommations de GNL dans le scénario retenu

5.6 Logistique d'approvisionnement

Les besoins totaux de GNL dans le scénario représentent environ 2 100 conteneurs ou 32 barges. En prenant en compte les variations saisonnières, cela représente jusqu'à 12 conteneurs par jour et plus d'une barge par semaine dans les mois d'été.

L'étude SIGNAL a décrit les capacités d'approvisionnement par conteneur des 2 terminaux de Fos-sur-Mer (voir Tableau 8). Ces données donnent la capacité disponible de chargement de conteneurs de GNL qui pourrait être utilisée pour l'approvisionnement des besoins de Toulon, cette capacité supplémentaire est de 281 000 tonnes, et de près de 600 000 tonnes avec l'extension du terminal de Cavaou évoquée dans l'étude SIGNAL.

Dans le scénario proposé les besoins de GNL sont de 43 000 tonnes, ce qui est inférieur aux capacités disponibles du terminal de Fos-sur-Mer. Un approvisionnement uniquement en conteneurs est donc envisageable, même sans l'extension de Fos Cavaou. Le recours à un approvisionnement en barge apparaît toutefois intéressant pour limiter les trajets par camions en approvisionnant un stock tampon sur le port de Toulon. Le stock devrait au moins être capable d'avitailer un navire de croisière

(hypothèse de 3 000 m³, soit une barge complète) et les ferries pendant une semaine. L'équivalent de 2 barges semble donc un minimum.

Dans l'hypothèse d'une production locale de bioGNL, on voit que les consommations des bateaux (ferries ou croisière) sont très importantes par rapport à la production potentielle de biométhane. Par exemple, comme indiqué au paragraphe 3.2.5, la production de méthane de la station d'épuration de Marseille atteint près de 20 GWh sur une année quasiment complète. Cela ne représente que 25% des besoins en énergie d'un seul ferry. L'installation la plus importante³ répertoriée sur le réseau GRDF atteint 28 GWh en 2019, ce qui représente seulement 1/3 des besoins d'un ferry. En revanche, les besoins d'une centaine de camions convertis au GNL sont estimés à 20 GWh, ce qui pourrait être compatible avec une fourniture locale en gaz avec une installation de méthanisation de taille comparable à celle de Marseille.

Il est prévu d'installer d'ici 2030 une station GNL pour le ravitaillement des camions sur la zone du port de Toulon. La capacité prévue de cette station est de 50 pleins par jour, ou 21 tonnes de GNL par jour. Avec ces hypothèses, dans le scénario retenu, la station serait utilisée à environ 45% de sa capacité maximale.

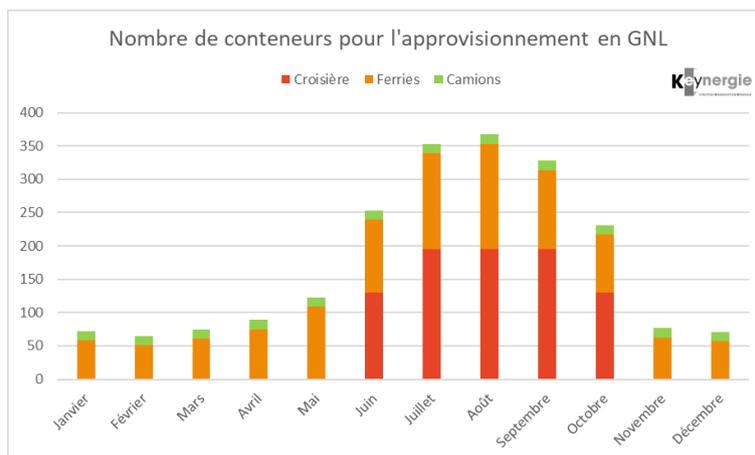


Figure 42 : Nombre mensuel de conteneurs dans le scénario proposé

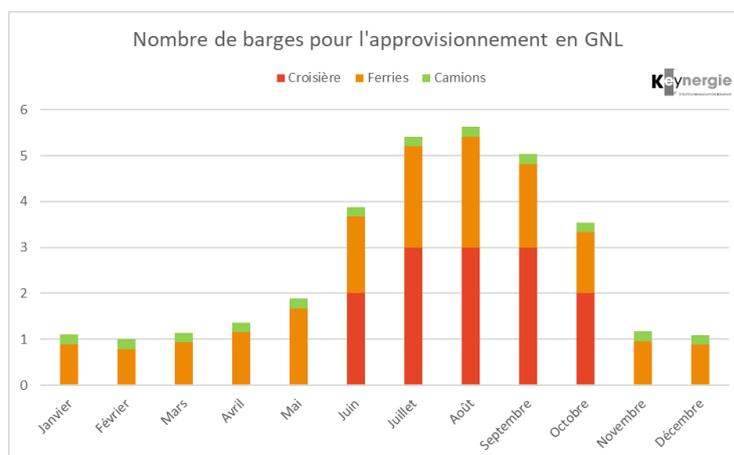


Figure 43 : Nombre mensuel de barges dans le scénario proposé

³ Installation de méthanisation de déchets agricoles située à Thennelières dans l'Aube

	Fos Tonkin	Fos Cavaou	Extension Fos Cavaou	Total (+ extension)
Capacité maximale	36 créneaux sur 2 baies de chargement 190 000 t/an	40 créneaux sur 2 baies de chargement 210 000 t/an	+ 3 baies de chargement + 315 000 t/an	400 000 t (+315 000 t)
Taux d'utilisation actuel	60%	4%	NA	30%
Capacité d'accueil supplémentaire	79 000 t	202 000 t	315 000 t	281 000 t (+315 000 t)

Tableau 8 : Capacités des terminaux de Fos-sur-Mer (Tonkin et Cavaou)

5.7 Conclusions

La consommation totale de GNL dans le scénario proposé est de 43 000 tonnes, cela correspond à plus de 32 barges GNL de 3000 m³ à l'année.

Le volume à transporter est plus important dans le cas du GNL par rapport au fioul (+ 66% environ) qui est pénalisé par sa masse volumique près de 2 fois plus faible que celle du fioul. Cette augmentation entraîne également un accroissement du nombre de trajets d'approvisionnement, par barge ou par camion. Il est nécessaire de s'assurer que cette augmentation n'entraîne pas de difficultés pour la logistique d'approvisionnement en carburant et la gestion du port de manière globale.

Un approvisionnement uniquement par conteneurs via Fos-sur-Mer est théoriquement possible, avec les capacités disponibles, le taux d'utilisation des 2 terminaux étant alors de 45%. Il faut toutefois s'assurer qu'il n'existe pas trop d'autres projets de déploiement GNL à grande échelle dans la région, ce qui viendrait solliciter très fortement les installations de Fos-sur-Mer. Le recours à **une barge pourrait limiter le nombre de trajets en camions** qui seraient nécessaires pour faire transiter les conteneurs de GNL.

Un stock tampon apparaît indispensable, notamment dans l'hypothèse de conversion d'un bateau de croisière, car celui-ci pourrait consommer jusqu'à 3000 m³ à chacune de ses escales. L'avitaillement d'un bateau de croisière uniquement par camion représenterait l'équivalent de 65 conteneurs à décharger les uns après les autres, entre son arrivée le matin et son départ l'après-midi. Le stock tampon devrait permettre ainsi d'avitaillement un bateau de croisière, et de garder une marge supplémentaire pour les besoins des ferries. Dans le scénario étudié, l'équivalent de 2 avitaillements de bateaux de croisière semble pertinent.

Une barge pourrait se substituer à un stock fixe à terre, mais il faudrait alors s'assurer qu'une barge est présente en permanence dans le port. Il faudrait alors au moins 2 barges qui effectueraient une rotation. Une barge pourrait également simplifier la gestion d'un stock tampon, une seule barge pouvant transporter l'équivalent des besoins d'une escale de bateau de croisière.

L'utilisation de bioGNL n'apparaît pas suffisante pour fournir en carburant les navires, ferries ou croisière. L'utilisation de bioGNL pour les camions pourrait être envisageable, les consommations énergétiques d'une flotte d'une centaine de camions étant du même ordre de grandeur que la production d'une station d'épuration de la taille de celle de Marseille. Une étude économique reste toutefois nécessaire pour comparer cette solution à la réinjection de biométhane dans le réseau.

6 Etude hydrogène

NB : Les données suivantes sont données pour un ferry 100% H₂, pour être facilement comparées avec l'étude GNL, cependant les problématiques techniques ou pratiques⁴ liées à la conception d'un ferry 100 % H₂ ne sont pas considérées. Le cas d'un navire de croisière 100% H₂ étant encore moins envisageable à moyen terme, il n'est pas traité ici.

6.1 Approche

De la même manière que pour le GNL, il est possible de traduire les consommations de carburant en besoins d'hydrogène.

A partir des données d'ensoleillement issues des mesures satellites du réseau européen Copernicus, il est possible d'estimer la production électrique maximale de panneaux solaires installés dans la région de Toulon (ici, on considère que les panneaux sont installés sur le plateau de Signes). A partir de cette valeur et de la consommation énergétique d'un électrolyseur, les besoins d'hydrogène peuvent être traduits en production photovoltaïque nécessaire pour la production d'un hydrogène 100% ENR.

De plus, dans le cas spécifique du transport maritime, le recours à un hydrogène produit par vaporeformage d'hydrocarbures fossiles peut être intéressant d'un point de vue environnemental, malgré un bilan carbone assez lourd de cette opération (plus de 10 kg de CO₂ pour 1 kg d'H₂ produit). En effet, la substitution permet de faire disparaître totalement les émissions de particules fines, d'oxyde d'azote et de soufre lors de son utilisation à bord du navire (le vaporeformage émettant toutefois des quantités d'oxyde d'azote et de soufre semblables à la combustion de gaz naturel), ainsi que de réduire les émissions globales de CO₂ (voir bilan carbone à la partie 7.1.3).

6.2 Analyse

6.2.1 Données et hypothèses

Rendement de l'électrolyseur en kWh _é /kg _{H₂}	56 ⁵
Rendement de la pile à combustible en kWh _é /kg _{H₂}	16 ⁵
Masse volumique de l'hydrogène liquide en kg/m ³	71
Masse volumique de l'hydrogène à 700 bars en kg/m ³	42

6.2.2 Besoins d'hydrogène

Avec ces hypothèses, la consommation annuelle d'H₂ est estimée à 4 890 tonnes pour un ferry converti en 100% H₂. Cela représente 68 800 m³ d'H₂ liquéfié, soit 23 barges ou 1 500 conteneurs standards, ou

⁴ A l'heure actuelle, aucun ferry 100% H₂ d'une taille comparable à celle des ferries de Corsica Ferries est en opération ou en construction. Quelques démonstrateurs de navettes sont en opération et des projets sont annoncés principalement pour des bateaux de taille plus petite. Il serait sûrement plus cohérent d'envisager des ferries hybrides avec une part minoritaire d'hydrogène

⁵ Données ADEME 2020

en considérant de l'H₂ gazeux à 700 bars, 116 300 m³, soit 39 barges (même si l'hydrogène compressé n'est a priori pas transporté par barge) ou 2 530 conteneurs.

	H ₂ liquéfié	H ₂ compressé
Consommation annuelle d'H ₂ en tonnes	4 890	
Volume équivalent en m ³	68 800	116 300
Nombre équivalent de barges	23	29
Nombre équivalent de conteneurs	1 500	2 530

Tableau 9 : Récapitulatif de la consommation d'H₂ pour un ferry

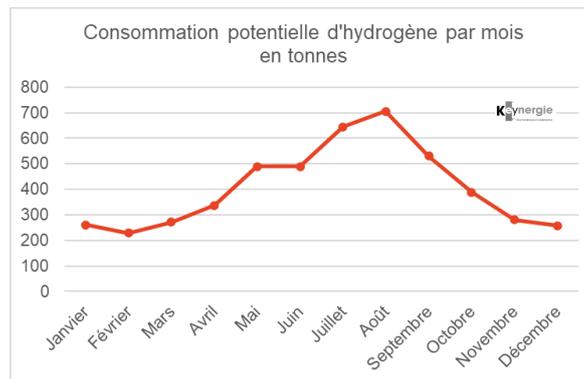


Figure 44 : Consommation potentielle d'hydrogène par mois

6.2.3 Production électrique renouvelable équivalente

La production photovoltaïque théorique maximale sur le plateau de Signes est d'environ 1,6 MWh/kWc installé, ce qui est très favorable par rapport à la moyenne française, autour de 1,1 – 1,2 MWh/kWc.

Les besoins d'hydrogène établis précédemment, en considérant les consommations énergétiques d'un électrolyseur, sont équivalents à la totalité de la production de 167 MWc de panneaux solaires, couplés à des électrolyseurs d'une puissance identique.

Pour comparaison, en France, les 3 plus grands parcs solaires photovoltaïques sont :

- La centrale solaire de Cestas en Gironde, mise en service en 2015, avec une puissance installée de **300 MWc**
- La centrale solaire de Toul-Rosières en Meurthe-et-Moselle, mise en service fin 2012, d'une puissance installée de **115 MWc**
- La centrale solaire de la Colle des Mées, dans les Alpes-de-Haute-Provence sur le plateau de Valensole, mise en service de 2011, d'une puissance installée de **100 MWc**

Les projets de déploiement d'électrolyseurs en France restent pour l'instant limités, et sont de puissances relativement faibles (environ 1 MW, comme dans le cas de Jupiter 1000 par exemple).

L'ordre de grandeur obtenu semble donc bien trop élevé pour être réaliste, il serait sûrement plus pertinent d'envisager des ferries hybrides incluant une part minoritaire d'hydrogène dans leur propulsion, qui serait sollicitée lors des manœuvres et des stationnements à quai dans les ports par exemple (sauf si branchement à quai évidemment).

Toutefois, il est intéressant de noter que les besoins sont relativement bien corrélés avec l'ensoleillement (Figure 45), cela permettrait de limiter les stocks tampons, la production mensuelle étant proche de la consommation mensuelle (Figure 46).

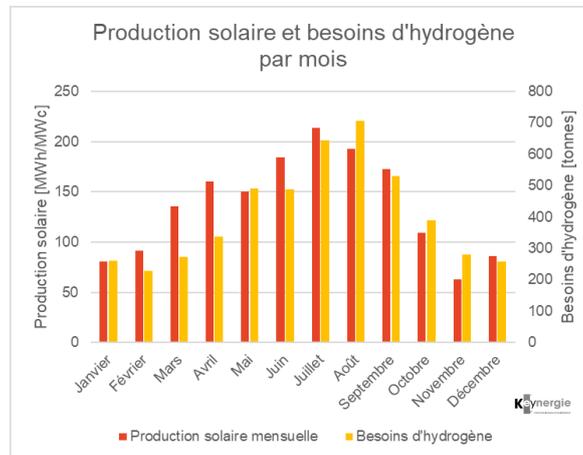


Figure 45 : Production solaire et besoins d'hydrogène par mois

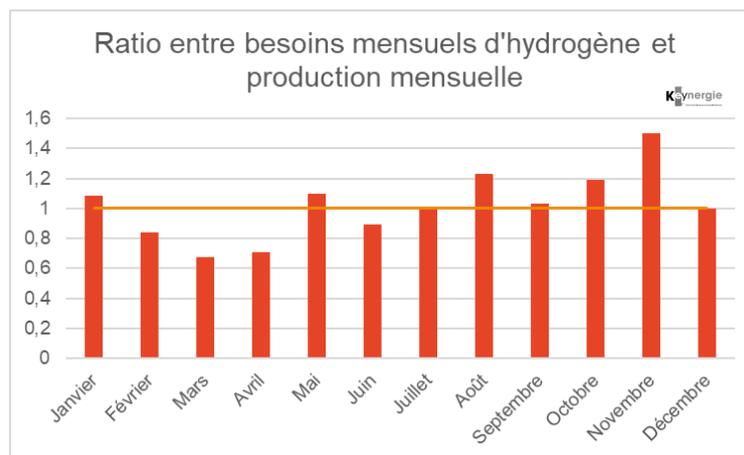


Figure 46 : Ratio entre besoins mensuels d'hydrogène et production mensuelle

6.3 Conclusion

En l'état actuel des technologies et des modèles disponibles sur le marché, il n'est pas possible d'envisager un ferry d'une taille comparable à ceux de Corsica Ferries alimenté à 100% en hydrogène. Le problème de l'encombrement est encore plus important que dans le cas du GNL. En effet, que ce soit pour le stockage à terre ou dans les réservoirs des navires, l'hydrogène reste extrêmement peu dense et les volumes nécessaires sont beaucoup plus importants que dans le cas du fioul (volume multiplié par 4,5 par rapport au fioul pour l'hydrogène, et 1,6 pour le GNL).

La seule alternative viable pour l'utilisation de l'hydrogène dans les ferries à moyen terme semble être d'envisager une hybridation et de concevoir un bateau à 10 % H₂ par exemple.

Une piste plus pertinente serait d'envisager des camions à hydrogène qui sont plus proches de la phase de commercialisation et de déploiement à grande échelle. Les besoins seraient plus facilement satisfaits

avec une production locale basée sur de l'électrolyse et de la production photovoltaïque. Les détails des besoins d'une flotte de camions hydrogène pourraient être précisés si des données plus précises sur les flottes de camions sur la zone étaient récoltées et que certains industriels se montraient intéressés.

7 Conclusion générale

7.1 Analyse des vecteurs énergétiques

7.1.1 Consommation d'électricité et de gaz

Sur le territoire étudié on peut identifier 3 zones fortement consommatrices d'énergie, (électricité et gaz) : Brégaillon, Le Castellet et une zone d'activité à l'Est de Toulon. Ces zones de fortes consommations regroupent principalement des industriels et des consommateurs tertiaires. Ceux-ci représentent un enjeu majeur dans l'objectif de transition énergétique et écologique du port.

La transition énergétique du territoire passe par une implication accrue de ces acteurs qui peuvent mettre en œuvre des actions à fort impact : réduction de consommation, production locale à partir des terrains et des toitures de bâtiments disponibles, boucles locales de coopération et d'économie circulaire entre consommateurs proches.

L'analyse des consommations de ces acteurs à des échelles de temps plus fines (avec leur consentement) et des ressources permettra de faire émerger des projets de transition énergétique innovants. Le projet HYNORVAR qui crée une coopération entre plusieurs parties du territoire est une illustration de la typologie de projet qui pourrait émerger. Pour s'assurer du succès de ces initiatives, il faut clarifier les relations entre les acteurs : qui produit l'énergie, qui produit l'hydrogène, qui transporte l'hydrogène, comment se répartit la production et les rémunérations entre les acteurs...etc.

Il est donc essentiel de réaliser un inventaire précis des principaux consommateurs dans ces zones et de les contacter pour tenter de les impliquer dans des projets de territoire et de faire émerger des coopérations possibles.

Les données, qui pourront être récupérées auprès de ces acteurs avec leur consentement, et les analyses qui pourront être réalisées à partir de ces données permettront d'une part d'améliorer l'efficacité énergétique de ces consommateurs et d'autre part de développer une compréhension plus fine des comportements à l'échelle de la zone du port et de son hinterland. Ces étapes sont indispensables pour identifier les actions et projets à lancer.

7.1.2 Impact logistique des substitutions de vecteurs énergétiques

Compte tenu des différences de densité énergétique chaque vecteur énergétique à un impact spécifique du point de vue logistique.

A énergie équivalente, **le GNL et l'hydrogène représente une masse plus faible que le fioul (-25 % et -66 % respectivement)** mais qu'en terme de volume, **le fioul reste tout de même la solution la plus dense énergétiquement.**

Le GNL représente une augmentation de 66 % du volume total consommé, et l'hydrogène, qui souffre ici d'une masse volumique très faible, représente une multiplication des volumes consommés par 4,5 sous forme liquéfiée et par près de 8 sous forme compressée par rapport au fioul. Ces volumes plus importants peuvent pénaliser la logistique d'approvisionnement des navires et le stockage des stocks

tampons pour ces vecteurs énergétiques (taille des réservoirs à terre et à bord des navires), l'encombrement étant souvent plus limitant que le poids.

Un approvisionnement uniquement par conteneurs via Fos-sur-Mer est théoriquement possible, avec les capacités disponibles, le taux d'utilisation des 2 terminaux étant alors de 45%. Il faut toutefois s'assurer qu'il n'existe pas trop d'autres projets de déploiement GNL à grande échelle dans la région, ce qui viendrait solliciter très fortement les installations de Fos-sur-Mer. Le recours à **une barge pourrait limiter le nombre de trajets en camions** qui seraient nécessaires pour faire transiter les conteneurs de GNL.

Un stock tampon apparaît indispensable, notamment dans l'hypothèse de conversion d'un bateau de croisière, car celui-ci pourrait consommer jusqu'à 3000 m³ à chacune de ses escales. L'avitaillement d'un bateau de croisière uniquement par camion représenterait l'équivalent de 65 conteneurs à décharger les uns après les autres, entre son arrivée le matin et son départ l'après-midi. Le stock tampon devrait permettre ainsi d'avitaillement un bateau de croisière, et de garder une marge supplémentaire pour les besoins des ferries. Dans le scénario étudié, l'équivalent de 2 avitaillements de bateaux de croisière semble pertinent.

Une barge pourrait se substituer à un stock fixe à terre, mais il faudrait alors s'assurer qu'une barge est présente en permanence dans le port. Il faudrait alors au moins 2 barges qui effectueraient une rotation. Une barge pourrait également simplifier la gestion d'un stock tampon, une seule barge pouvant transporter l'équivalent des besoins d'une escale de bateau de croisière.

L'utilisation de bioGNL n'apparaît pas suffisante pour fournir en carburant les navires, ferries ou croisière. L'utilisation de bioGNL pour les camions pourrait être envisageable, les consommations énergétiques d'une flotte d'une centaine de camions étant du même ordre de grandeur que la production d'une station d'épuration de la taille de celle de Marseille. Une étude économique reste toutefois nécessaire pour comparer cette solution à la réinjection de biométhane dans le réseau.

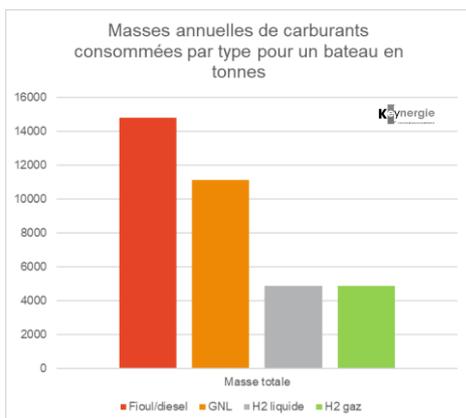


Figure 47 : Masses annuelles de carburants consommées (par type de carburant) par un ferry

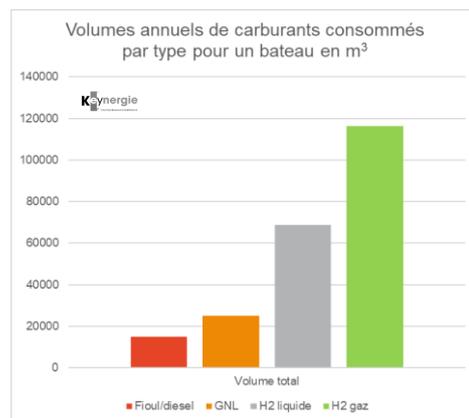


Figure 48 : Volumes annuels de carburants consommés (par type de carburant) par un ferry

7.1.3 Bilan carbone des différentes solutions envisagées pour les ferries

On peut comparer les émissions de CO₂ de chaque solution en prenant les facteurs d'émissions retenus par l'ADEME sur la base « bilans GES⁶ » pour chacun des vecteurs énergétiques utilisés.

On se contente de réaliser cette étude pour les ferries, les données précises de consommation pour les navires de croisière et les camions n'étant pas connues, les conclusions reposeraient sur trop d'hypothèses et de suppositions. Des estimations similaires pourraient toutefois être réalisées avec plus de données récupérées auprès des acteurs concernés.

Pour l'hydrogène électrolytique, il n'y a que très peu d'informations sur les facteurs d'émission liés au cycle de vie des électrolyseurs et de ses systèmes annexes, on présente donc uniquement les émissions liées au cycle de vie des panneaux solaires.

	Facteurs d'émission	Unité
Fioul lourd	3,64	kg CO ₂ /kg
Diesel Marine Léger	3,85	kg CO ₂ /kg
GNL	3,51	kg CO ₂ /kg
Électricité PV	0,055	kg CO ₂ /kWh (électricité produite par les panneaux PV)
Hydrogène fossile	0,664	kg CO ₂ /kWh (électricité produite par les piles à combustible)

Tableau 10 : Facteurs d'émission par vecteur énergétique (source : Bilans GES ADEME)

La substitution entre les carburants classiques (fioul/diesel) et le GNL permet une réduction de près de 30% des émissions de CO₂ (Figure 49), en plus de la réduction des autres émissions (particules fines, soufre, oxyde d'azote). Cet ordre de grandeur est celui qui est cité dans plusieurs publications des industriels et professionnels du secteur, entre 25 et 30%.

Toutefois, un point de vigilance apparaît dans plusieurs études⁷ sur l'impact du GNL : les fuites de méthane pour certains types de moteurs. Si la combustion n'est pas complète dans les moteurs du navire et qu'une partie du méthane non brûlé est rejeté à l'atmosphère, cela peut pénaliser l'impact environnemental de la substitution au GNL, voire être plus pénalisant que le bilan initial.

Pour comparer les émissions de gaz à effet de serre on utilise le Potentiel de Réchauffement Global (PRG ou GWP, *Global Warming Potential* en anglais). Celui-ci mesure l'impact global des gaz à effet de serre par rapport au CO₂ sur une période donnée (souvent 100 ans) à partir de leur durée de vie et de leurs propriétés chimiques et radiatives. Dans le cas du méthane, son PRG est de 28 (donc 28 fois plus impactant que le CO₂), ce qui fait que même des fuites faibles peuvent avoir un impact non négligeable.

⁶ <https://bilans-ges.ademe.fr/>

⁷ **"The climate implications of using LNG as a marine fuel"** *International Council On Clean Transportation (2020)*
"Particle- and gaseous emissions from a LNG powered ship" Maria Anderson, Kent Salo, Erik Fridell, *Environmental Science & Technology (2015)*
"Methane slip from gas fuelled ships: a comprehensive summary based on measurement data" Sergey Ushakov, Dag Stenersen, Per Magne, Einang, *Journal of Marine Science and Technology (2018)*

Toutefois, cette problématique de fuite de méthane (*methane slip* en anglais) est identifiée par les constructeurs de moteurs et de nets progrès ont été réalisés.

La substitution entre les carburants classiques (fioul/diesel) et l'hydrogène électrolytique, produit à partir d'électricité photovoltaïque permet une réduction de plus de 70% des émissions de CO₂ (cycle de vie des électrolyseurs non pris en compte). Dans ce cas, les autres émissions (particules fines, soufre, oxyde d'azote) disparaissent complètement.

La substitution entre les carburants classiques (fioul/diesel) et l'hydrogène fossile, produit par vaporeformage d'hydrocarbures, souvent du méthane, permet une réduction de 10% des émissions de CO₂. Les autres émissions (particules fines, soufre, oxyde d'azote) sont réduites, et doivent être comparables à celles de la combustion du GNL.

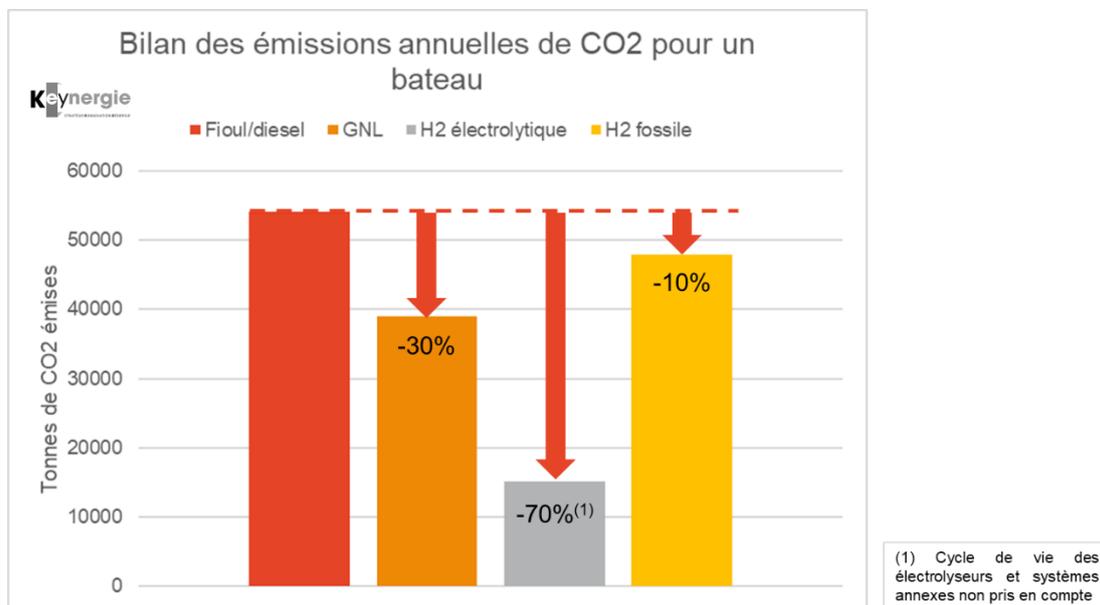


Figure 49 : Bilan carbone annuel des différents vecteurs énergétiques pour un ferry

7.2 Pistes de travail proposées pour la suite

7.2.1 Récupération des données utiles

Au démarrage de cette étude, il est apparu que certaines données ne sont pas disponibles ou ne sont pas facilement accessibles. Parmi ces données, on peut citer :

- Les consommations des ferries : Corsica Ferries n'a donné que des estimations annuelles de sa consommation en carburants, pour préciser et vérifier les conclusions de cette étude, il serait utile d'avoir accès aux données de consommation et de livraison des carburants consommés par Corsica Ferries. Ces données pourraient être complétées par des informations sur comment sont gérés les rotations des navires et l'approvisionnement en carburants par Corsica Ferries.
- Les consommations d'électricité et de gaz à l'échelle de la zone à un pas de temps plus fin que des bilans annuels, si possible découpées par domaines d'activité (en séparant au minimum les

consommateurs résidentiels du reste des consommateurs industriels et tertiaires). Ces données pourraient éventuellement être récupérées par la Métropole auprès de RTE, Enedis et GRDF.

- La liste des industriels les plus consommateurs, avec les consommations correspondantes : Ces données permettraient d'identifier **les plus gros consommateurs, qui pourraient ensuite être contactés directement par la CCI et faire l'objet d'actions ciblées de réduction de consommation ou être intégrés à des projets sur le territoire.**

Ces données permettraient d'aider la CCI à identifier des problématiques, à faire émerger des projets et à quantifier précisément certains besoins afin d'argumenter les décisions et les orientations pour réaliser la transition énergétique du port.

7.2.2 Impulsion de dynamique avec les acteurs locaux

De nombreux schémas environnementaux et initiatives locales, à l'échelle du port, de la Métropole, du département ou de la région sont engagés : études GNL déjà réalisées en coopération avec les régions voisines, électrification des quais, projet HYNOR, Plan climat-air-énergie territorial (PCAET) de la Métropole de Toulon, Schéma de Cohérence Territoriale (SCoT) de Provence Méditerranée, Schéma Régional Climat Air Energie (SRCAE) de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur...

Cependant, **il est nécessaire de créer une cohérence entre ces différentes actions et de rassembler tous les acteurs locaux (élus, acteurs publics institutionnels, industriels, entreprises...) au sein d'une même dynamique pour réaliser des projets concrets et adaptés aux spécificités locales** et pour éviter de réaliser des actions ou des projets concurrents.

Pour le port, la CCI peut identifier et rassembler tous les acteurs pertinents pour présenter un état des lieux de la situation actuelle, des projets engagés et prévus et pour faire émerger des problématiques communes. Cet événement pourrait prendre la forme d'un séminaire de prospective dans lequel différents intervenants viendraient partager les études et projets déjà réalisés, les démarches qu'ils ont construites et leur retour d'expérience. Il serait également pertinent de faire venir des acteurs d'autres ports français pour voir ce qui a déjà été fait et ce qui pourrait être transposé à Toulon.

7.2.3 Déclinaison des objectifs généraux en objectifs opérationnels et en déploiement de projets

La concertation entre les acteurs locaux et l'analyse des données territoriales permettraient de construire des projets concrets, de les déployer sur le port, de vérifier leur impact par rapport à celui attendu et d'étudier leur répliquabilité au niveau de toute la zone.

La rencontre des objectifs exprimés dans les schémas énergétiques territoriaux et des problématiques des acteurs locaux doit permettre de construire un plan d'actions opérationnel constitué de projets pertinents, argumentés et soutenus par les bons partenaires.

8 Annexe

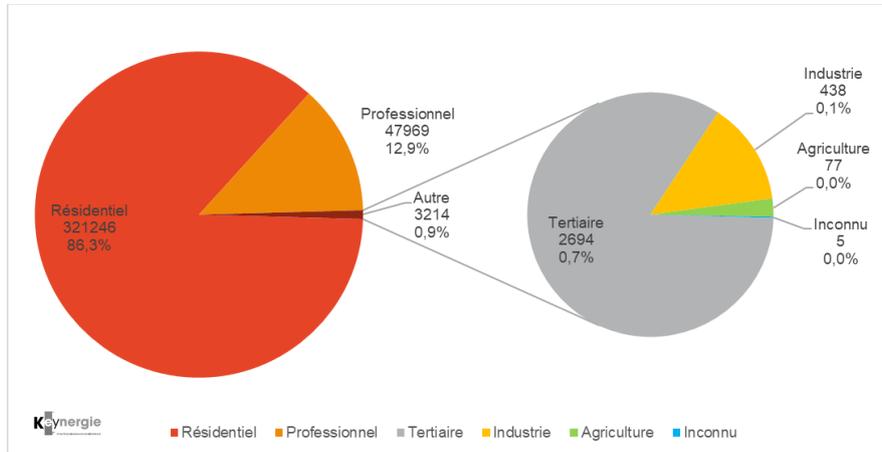


Figure 50 : Nombre de consommateurs d'électricité répertoriés par catégories dans la zone du port et de son hinterland (2017)

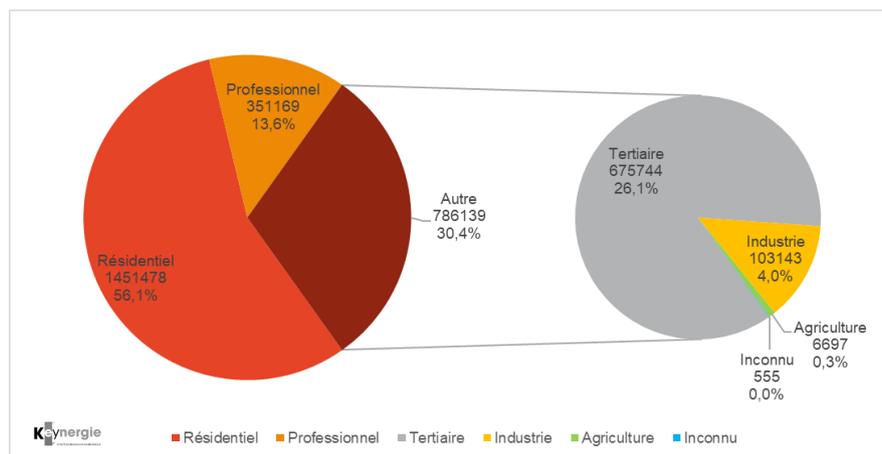


Figure 51 : Consommations annuelles d'électricité (en MWh) par catégories dans la zone du port et de son hinterland (2017)

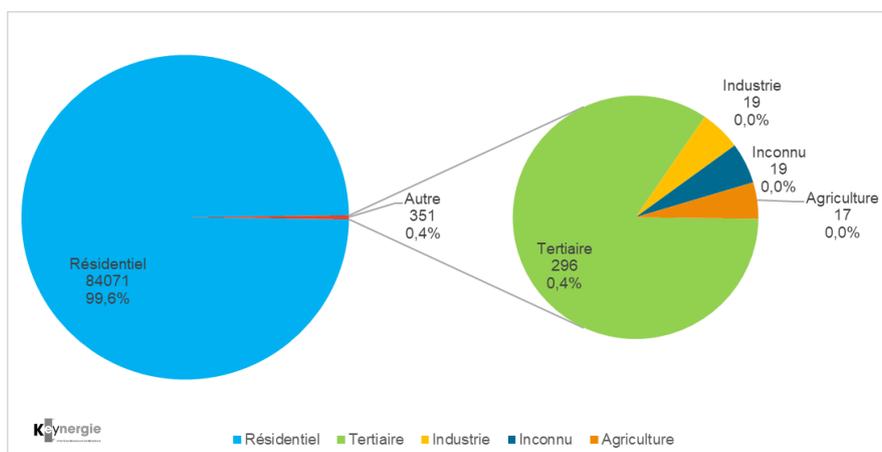


Figure 52 : Nombre de consommateurs de gaz répertoriés par catégories dans la zone du port et de son hinterland (2017)

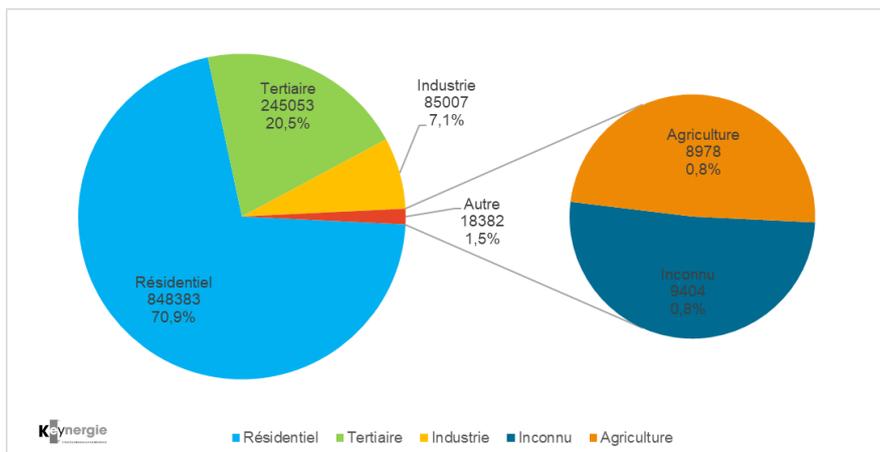


Figure 53 : Consommations de gaz (en MWh) par catégories dans la zone du port et de son hinterland (2017)

	ELECTRICITE			
	Port de Toulon		Toulon et Hinterland	
	Nombre de consommateurs	Consommations (MWh)	Nombre de consommateurs	Consommations (MWh)
Résidentiel	21883	74515	321246	1451478
Professionnel	5803	42895	47969	351169
Tertiaire	376	113057	2694	675744
Industrie	60	14431	438	103143
Agriculture	1	15	77	6697
Inconnu	0	0	5	555
	GAZ			
	Port de Toulon		Toulon et Hinterland	
	Nombre de consommateurs	Consommations (MWh)	Nombre de consommateurs	Consommations (MWh)
Résidentiel	7879	69123	84071	848383
Tertiaire	42	35271	296	245053
Industrie	10	40683	19	85007
Agriculture	1	393	17	8978
Inconnu	1	261	19	9404

Tableau 11 : Nombre de consommateurs et consommations d'électricité et de gaz par secteur d'activité (2017)

Mois	Fioul lourd [tonnes]	Energie équivalente [MWh]	Fioul lourd [m ³]	Gasoil [tonnes]	Energie équivalente [MWh]	Gasoil [m ³]	GNL [tonnes]	GNL [m ³]	Nombre de barges équivalent	Nombre de conteneurs équivalent
1	5873,7	30832,9	5903,2	448,5	2563,1	504,0	594	1334,9	0,44	29,0
2	5154,6	27058,3	5180,5	393,6	2249,3	442,3	521	1171,5	0,39	25,5
3	6132,2	32190,1	6163,0	468,3	2675,9	526,2	620	1393,7	0,46	30,3
4	7594,6	39866,5	7632,7	579,9	3314,0	651,6	768	1726,0	0,58	37,5
5	11020,2	57848,8	11075,6	841,5	4808,8	945,6	1115	2504,5	0,83	54,4
6	11004,0	57764,0	11059,3	840,3	4801,8	944,2	1113	2500,9	0,83	54,4
7	14502,4	76128,0	14575,3	1107,5	6328,3	1244,3	1467	3295,9	1,10	71,7
8	15900,1	83465,1	15980,0	1214,2	6938,2	1364,3	1608	3613,6	1,20	78,6
9	11949,3	62726,1	12009,4	912,5	5214,2	1025,3	1208	2715,7	0,91	59,0
10	8749,9	45931,3	8793,9	668,2	3818,1	750,8	885	1988,6	0,66	43,2
11	6326,1	33207,9	6357,9	483,1	2760,5	542,8	640	1437,7	0,48	31,3
12	5792,9	30408,8	5822,0	442,4	2527,8	497,0	586	1316,5	0,44	28,6
Total	110000,0	577427,8	110552,8	8400,0	48000,0	9438,2	11124,8	24999,5	8,3	543,5

Tableau 12 : Consommations mensuelles détaillées de carburant de Corsica Ferries et consommation potentielle de GNL pour un ferry

Mois	H2 [tonnes]	H2 liquide [m ³]	Nombre de barges équivalent	Nombre de conteneurs équivalent	H2 gaz 700 bar [m ³]	Nombre de barges équivalent	Nombre de conteneurs équivalent
1	261	3674,7	1,2	79,9	6212,0	2,1	135,0
2	229	3224,9	1,1	70,1	5451,6	1,8	118,5
3	272	3836,5	1,3	83,4	6485,5	2,2	141,0
4	337	4751,4	1,6	103,3	8032,1	2,7	174,6
5	490	6894,5	2,3	149,9	11655,1	3,9	253,4
6	489	6884,4	2,3	149,7	11638,0	3,9	253,0
7	644	9073,1	3,0	197,2	15337,9	5,1	333,4
8	706	9947,6	3,3	216,3	16816,1	5,6	365,6
9	531	7475,8	2,5	162,5	12637,7	4,2	274,7
10	389	5474,2	1,8	119,0	9254,0	3,1	201,2
11	281	3957,8	1,3	86,0	6690,6	2,2	145,4
12	257	3624,2	1,2	78,8	6126,6	2,0	133,2
Total	4886,15	68819,1	22,9	1496,1	116337,0	38,8	2529,1

Tableau 13 : Consommation potentielle d'hydrogène pour un ferry