

## **Activité T.3.2**

*Identification des principales mesures de réduction des émissions polluantes pour les parties prenantes*

### **Produit T.3.2.1**

*Rapport sur les mesures visant à réduire les émissions de polluants atmosphériques*

**Partenaire Responsable :**

Qualitair Corse

*Zone de Lergie, RT50*

*20250 Corte, France*

**Auteur :**

Amaury ARLOTTO

**Date :**

Août 2022

La cooperazione al cuore del Mediterraneo

La coopération au cœur de la Méditerranée



## Table des matières

<b>Introduction</b>	<b>6</b>
<b>Description des paramètres de calculs d'émissions et de modélisation</b>	<b>7</b>
<b>1 Raccordement Electrique à Quai (CENAQ)</b>	<b>11</b>
<b>2 Utilisation de Carburants Alternatifs</b>	<b>16</b>
2.1 Navires GNL	16
2.2 Navires Ammoniac	20
2.3 Navires à l'Hydrogène, Electriques et Hybrides	23
<b>3 Améliorations technico-logistique du port et des navires</b>	<b>26</b>
3.1 Filtration des émissions polluantes (scrubber humide/sec & FAP)	26
3.2 Filtration du carburant et des huiles	29
3.3 Maitrise de l'énergie et de la consommation (MDE)	31
3.4 Logistique portuaire	33
<b>4 Législation (Zone SECA)</b>	<b>35</b>
<b>Méthodologie de passage des fiches aux scenarii</b>	<b>37</b>
<b>Informations nécessaires pour la description d'un scénario AER NOSTRUM</b>	<b>38</b>
<b>Scenarii envisagés par les partenaires</b>	<b>39</b>
<b>Scenarii Qualitair Corse</b>	<b>39</b>
Ajaccio	39
Bastia	42
<b>Scenarii AtmoSud</b>	<b>43</b>
Toulon	44
Nice	46
<b>Scenarii ARPAL / UNIGE</b>	<b>47</b>
Gênes	49
<b>Scenarii ARPAT</b>	<b>52</b>
Livourne	54
<b>Scenarii ARPAS / UNICA</b>	<b>56</b>
Cagliari et Olbia	57
<b>Conclusion</b>	<b>58</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>59</b>
<b>Table des abréviations</b>	<b>62</b>

## Table des figures

Figure 1 : Exemple d'une escale d'un ferry de la Corsica Ferries sur Bastia en Janvier 2022 – AIS ..	8
Figure 2 : Répartition des Emissions en fonction du type de navire sur Ajaccio (2019).....	9
Figure 3 : Répartition des Emissions en fonction de la phase de l'escale sur Ajaccio (2019) .....	9
Figure 4 : Répartition des Emissions par unité de temps sur Ajaccio (2019).....	10
Figure 5 : Schéma de connexion d'un navire à quai – ABB .....	11
Figure 6 : Futur navire GNL de la Corsica Linea, Galeotta – Corsica Linea .....	16
Figure 7 : Impact du cycle de vie du carburant sur le réchauffement climatique – ClearSeas .....	17
Figure 8 : Navires-transporteurs de GNL – ClearSeas .....	18
Figure 9 : Représentation d'un navire fonctionnant à l'Ammoniac – Impression d'artiste par N. de Vries .....	20
Figure 10 : MS Roald Amundsen, Navire hybride – Hurtigruten.....	23
Figure 11 : Le Bastø Electric, plus grand navire électrique au monde (139m) – Révolution Energétique .....	24
Figure 12 : Le Yara Birkeland, premier Cargo 100% électrique – Révolution Energétique.....	25
Figure 13 : Schéma de fonctionnement d'un filtre à particules sec – La Méridionale .....	26
Figure 14 : Cycle de traitement des fumées, procédé sec – Solvair Solutions .....	27
Figure 15 : Moteur MP4 du Girolata de la Méridionale testé avec la technologie OCEAMm – OCEAMm .....	29
Figure 16 : Réduction des suies en fonction du taux d'additif à faible charge – OCEAMm .....	30
Figure 17 : Exemples d'actions MDE sur certains navires de la Corsica Linea – Corsica Linea .....	31
Figure 18 : Port de Savone avec navires directement dans la ville – CruiseMapper.....	33
Figure 19 : Panache de fumée d'un navire à Bastia en 2021 – Qualitair Corse .....	35
Figure 20 : Mix Energétique en Corse .....	39
Figure 21 : Installations de production électrique d'EDF en Corse – EDF.....	40
Figure 22 : Fiches utilisées pour les scenarii sur Ajaccio .....	41
Figure 23 : Fiches utilisées pour les scenarii sur Bastia .....	42
Figure 24 : Différence relative entre le scenario «Future Référence » et le scénario « Très Base Teneur en Soufre » pour les concentrations en PM2.5 au cours de la période hivernale sur le domaine APICE (Zone du Grand Port Maritime de Marseille). .....	43
Figure 25 : Différence absolue entre les concentrations en PM2.5 des scénarios SN100 (SECA + NECA) et la situation de référence 2020. ....	44
Figure 26 : Fiches utilisées pour les scenarii sur Toulon.....	45
Figure 27 : Fiches utilisées pour les scenarii sur Nice .....	46
Figure 28 : Trafic de passagers et de fret - Port de Gênes .....	47
Figure 29 : Fiches utilisées pour les scenarii sur Gênes .....	51
Figure 30 : Trafic portuaire par type de navire à Livourne en 2021 .....	52
Figure 31 : Nombre d'escales par catégorie de navire sur l'année 2021 .....	53
Figure 32 : Emissions des polluants principaux et de CO2 par type de navire.....	53
Figure 33 : Fiches utilisées pour les scenarii sur Livourne.....	55
Figure 34 : Fiches utilisées pour les scenarii sur Cagliari et Olbia.....	57

## Table des tableaux

Tableau 1 : Chronologie d'une escale classique.....	8
Tableau 2 : Chronologie partielle d'une escale avec CENAQ .....	13
Tableau 3 : Méthodologie Fiches / Scenarii.....	37
Tableau 4 : Caractéristiques principales pour décrire un scénario.....	38

## Introduction

Ce compte-rendu est placé à l'intérieur du projet Interreg Italie-France Maritime 2014-2020 « AER NOSTRUM – Air bien commun » qui a comme but principal d'améliorer la durabilité des activités maritimes et portuaires dans le domaine commercial, en contribuant à la réduction des émissions de polluants atmosphériques et l'amélioration de la qualité de l'air dans les zones près des ports.

A l'intérieur du projet T3 « Perspectives de la qualité de l'air résultant par l'identification des mesures d'atténuation et stratégie de gestion » - est prévue l'activité T3.2 scindée en deux parties.

Une première partie consiste en un recensement des principales technologies actuellement disponibles sur le marché et celles qui pourraient l'être à moyen terme (dans un délai de 5 à 10 ans) permettant de réduire les émissions de polluants et de CO<sub>2</sub>. Le benchmark finalisé se présente sous la forme de fiches descriptives regroupant les caractéristiques économiques, logistiques et technologiques de chaque solution, puis les paramètres à prendre en compte pour leur intégration dans un scénario de modélisation.

Suite à ce travail de bibliographie réalisé par Qualitair Corse, les partenaires du projet sont invités à se réunir lors de comités techniques avec les acteurs locaux des ports étudiés afin de définir quels projets sont à l'étude dans le but de réduire les émissions sur le port. A l'issue de ces réunions, les actions retenues doivent pouvoir être décrites selon les caractéristiques spécifiques de chaque solution, à savoir ; les dimensions économiques et financières pertinentes pour l'évaluation par les armateurs/ports de l'investissement connexe (informations détaillées sur les dépenses d'investissement et les dépenses d'exploitation sur chaque investissement technologique examiné), les implications positives en termes de réduction des émissions, les risques et inconvénients possibles, ainsi que des indications sommaires qui permettent d'évaluer / mesurer l'efficacité des investissements au niveau économique, financier et environnemental.

Une deuxième partie du rapport synthétise l'ensemble des scénarii basés sur les fiches que chaque partenaire du projet souhaite prendre en compte pour son/ses ports de référence. Un travail de hiérarchisation sera nécessaire de manière à pouvoir préparer le travail de modélisation pour les partenaires concernés et poser les bases de potentielles études complémentaires pour les partenaires sans outil de modélisation.

Ce compte-rendu constitue le produit T3.2.1 qui vise à fournir aux armateurs une sorte de ligne directrice dans laquelle les **avantages/inconvénients** technico-économiques des différentes mesures de mitigation sont mises en évidence.

## Description des paramètres de calculs d'émissions et de modélisation

Afin de proposer des hypothèses et paramètres pertinents pour chaque scénario, il est important de fixer en premier-lieu une liste de données communes à chaque fiche.

Pour chaque ferry / flotte, une combinaison d'un travail d'inventaire couplé à des informations logistiques permet d'établir une base solide pour la modélisation, à savoir :

<b>Carburant</b> (HSFO <sup>1</sup> , LSFO <sup>2</sup> , GNL <sup>3</sup> , NH <sub>3</sub> , Elec/H <sub>2</sub> ) <b>Dépollution</b> (FAP <sup>4</sup> , Scrubber BO/BF <sup>5</sup> , Ø) <b>Technologie</b> (MDE <sup>6</sup> , Filtre Huile, Ø)	Permet d'établir les émissions de polluants de chaque source
Permet de calculer l'impact des émissions sur la ville	<b>Météo / Topographie / Nombre de navires</b> <b>Emplacement du stationnement</b> <b>Durée Phase</b> (Manœuvre / Stationnement)

Ces éléments seront détaillés plus en profondeur dans la suite de ce rapport dans les différentes fiches.

Pour les besoins du projet, il est admis qu'une escale d'un navire se décompose selon la manière suivante :

**Déroulement** : *5 Phases distinctes peuvent être identifiées lors d'une escale maritime.*

- 1 - Phase de Croisière Arrivée (PROP<sup>7</sup> ON, GEN<sup>8</sup> OFF)
- 2 - Phase de Manœuvre Arrivée (PROP ON, GEN OFF)
- 3 - Phase à Quai sans CENAQ (PROP OFF, GEN ON)
- 4 - Phase de Manœuvre Départ (PROP ON, GEN OFF)
- 5 - Phase de Croisière Départ (PROP ON, GEN OFF)

On stipule qu'un navire termine sa phase de croisière arrivée quand il franchit la limite de la zone d'étude du modèle. Le navire est alors considéré en phase de manœuvre jusqu'au moment où, une fois accosté et amarré, l'ordre « Terminé pour la Machine (TPLM) » est donné, et les moteurs de propulsion coupés. Les groupes électrogènes (ou motorisations auxiliaires) prennent alors le relais pour assurer le réseau électrique de bord en phase de stationnement. Juste avant l'appareillage, les moteurs de propulsion sont relancés (et groupes électrogènes coupés à nouveau) puis le navire s'engage dans sa manœuvre de départ, considérée elle aussi comme terminée au moment de la sortie de la zone d'étude. La phase de croisière départ est ainsi prise en compte à ce moment.

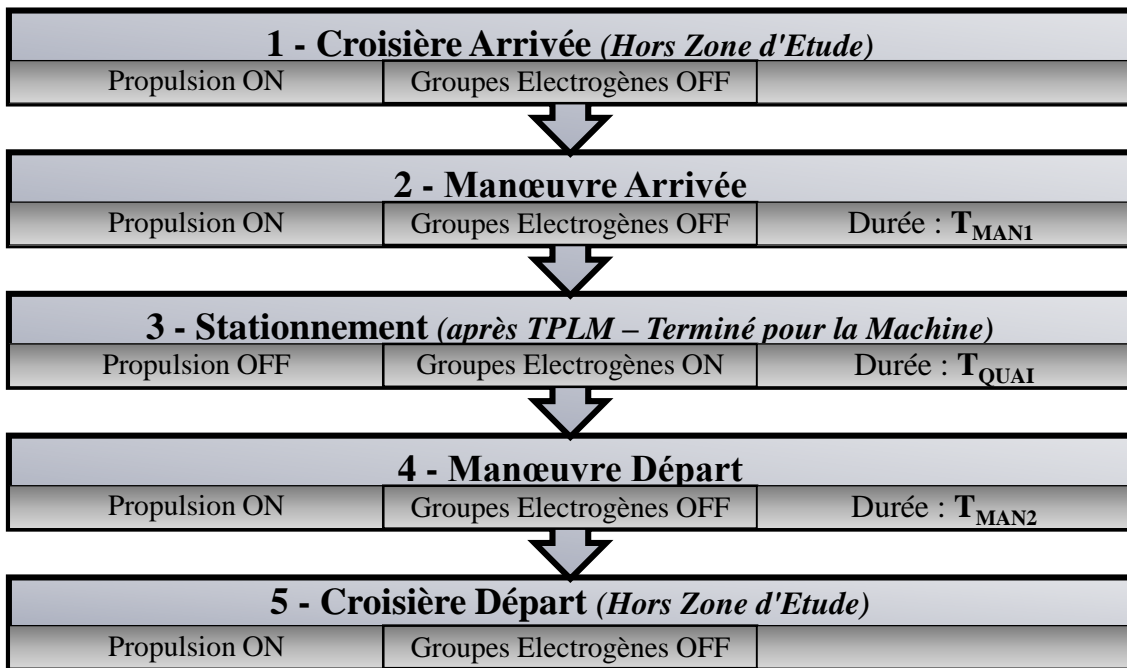


Tableau 1 : Chronologie d'une escale classique

Les phases 1 et 5 sont alors perçues comme un fond de pollution et n'intervenant pas directement dans les calculs d'impact sur la ville lors des simulations.

Ce déroulement est valable quel que soit le port d'escale, la logistique d'arrivée et de départ. La durée de chaque phase dépend des conditions météo, de la réglementation locale ou des contraintes portuaires. Cela se répercutera sur les émissions totales selon les critères de calculs définis par le Pôle de Coordination des Inventaires Territoriaux (PCIT<sup>9</sup>).

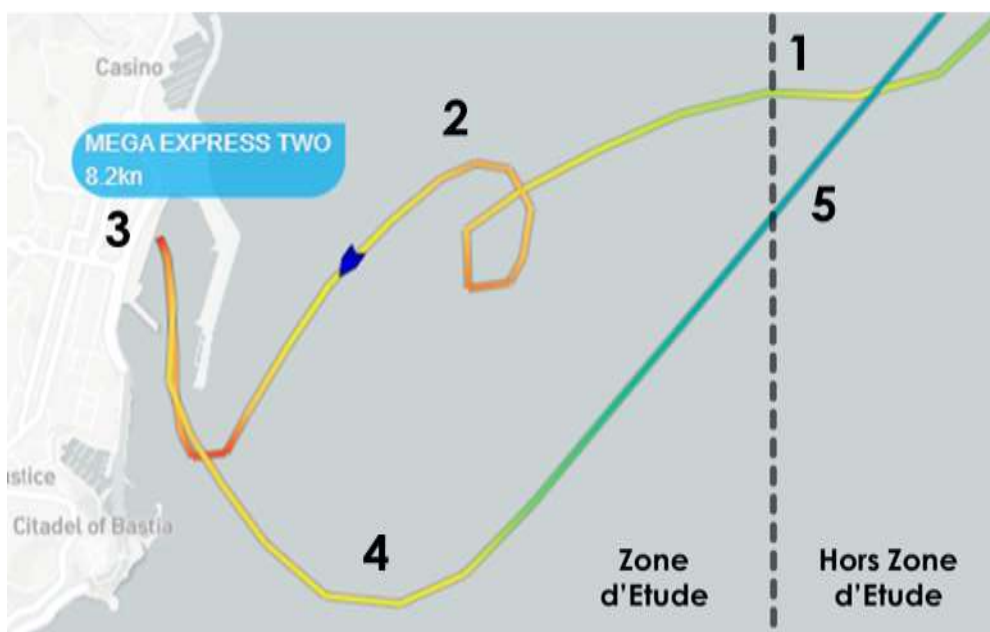


Figure 1 : Exemple d'une escale d'un ferry de la Corsica Ferries sur Bastia en Janvier 2022 – AIS



Le calcul des émissions en fonction du type de navire et des différentes phases de l'escale permet d'orienter les projets à étudier et d'estimer l'impact positif qu'une solution pourrait avoir. A titre d'exemple, en 2019, les ferries représentaient la majeure partie des émissions de polluants ce qui permet de mettre en priorité les solutions portant sur la réduction des émissions optimisées pour les navires de transport de passagers.

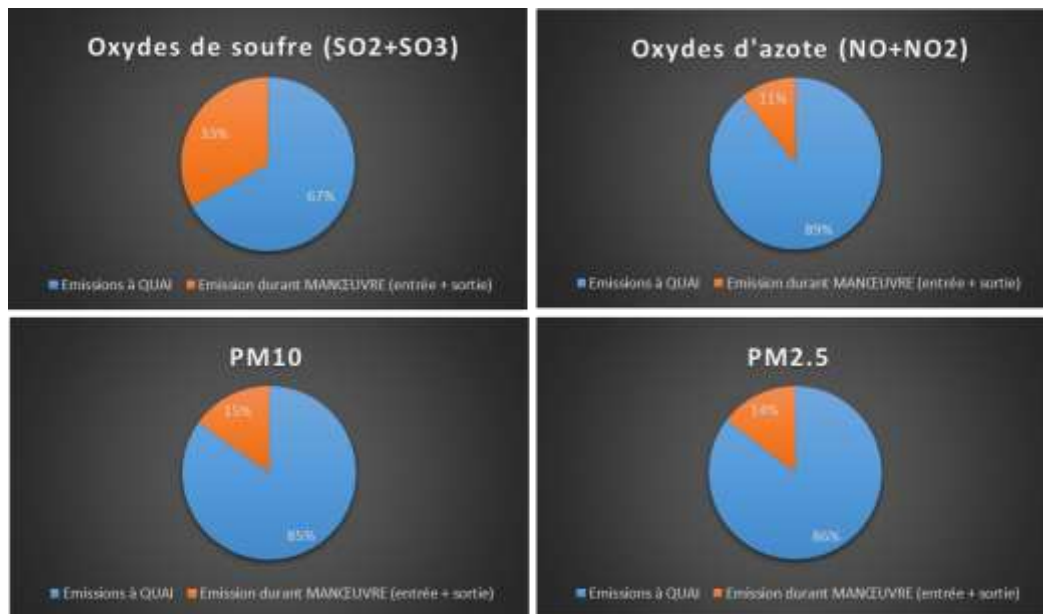


Figure 2 : Répartition des Emissions en fonction du type de navire sur Ajaccio (2019)

En vérifiant la quantité d'émissions en fonction de la phase de l'escale, on se rend compte que c'est durant le stationnement à quai que la majorité de la pollution est émise. C'est principalement dû au fait que la durée de la phase à quai est en moyenne beaucoup plus grande que la phase de manœuvre, notamment pour les ferries stationnant toute la journée au port. Dans ce cas, une solution orientée raccordement électrique à quai serait d'un réel intérêt afin de supprimer / réduire la majeure partie de ces émissions.

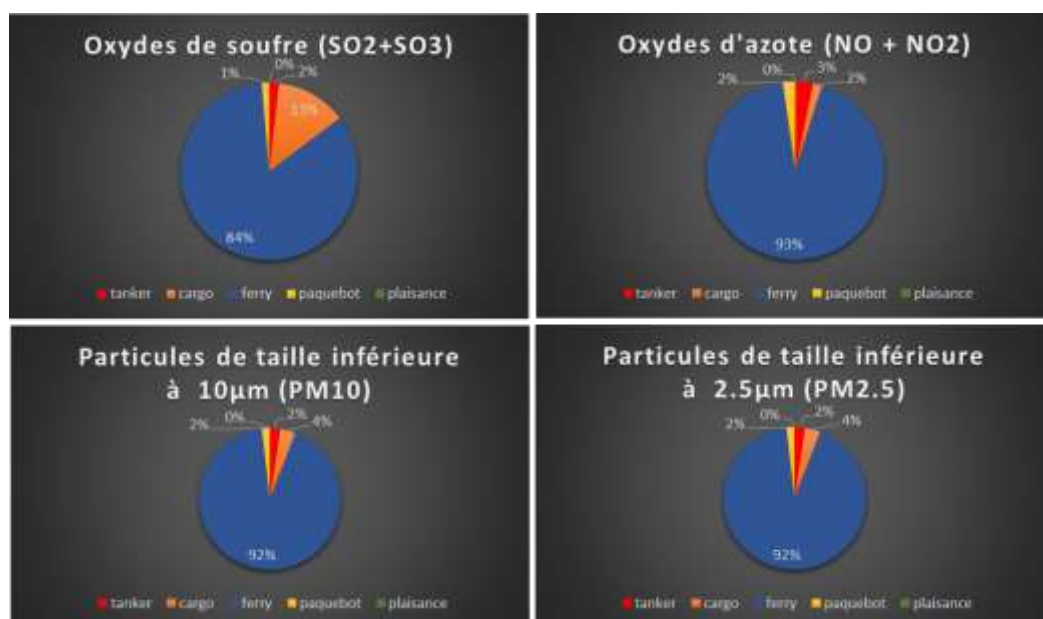


Figure 3 : Répartition des Emissions en fonction de la phase de l'escale sur Ajaccio (2019)

En revanche, lorsqu'il s'agit d'escales plus courtes, la proportion a tendance à drastiquement changer. En ramenant les émissions totales du précédent graphique par unité de temps (et en considérant que les phases de manœuvres durent au total 40min), on constate que la phase transitoire est la plus émettrice. C'est d'ailleurs cette phase qui est le plus souvent critiquée lorsque des plaintes sont reçues concernant les panaches de navires. Le diagramme ci-dessous représente analytiquement le constat visuel de ce surplus de fumées au moment des arrivées / départs.

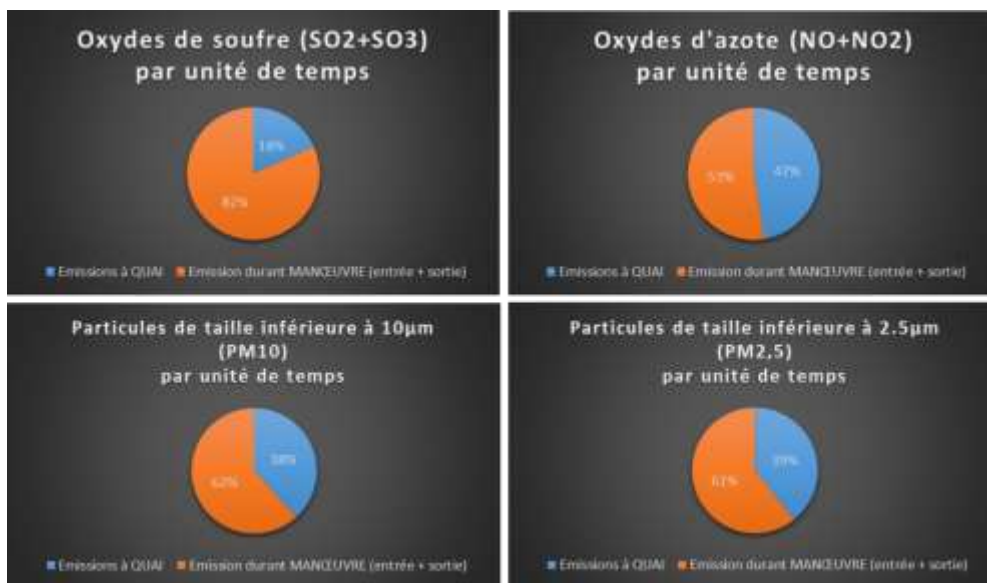


Figure 4 : Répartition des Emissions par unité de temps sur Ajaccio (2019)

Dans ces cas-là, des solutions orientées dépollution semblent plus pertinentes pour endiguer ces pics d'émissions liées à une augmentation de la charge moteur pour manœuvrer.

Il n'y a donc pas qu'une solution à mettre en place afin d'améliorer la qualité de l'air, et certaines dépendent aussi des contraintes logistiques propres à chaque escale (impossibilité de connecter le navire au réseau pour des escales inférieures à 2h par exemple).

La suite de ce rapport décrit un panel non exhaustif de solutions possibles à mettre en place, pouvant évoluer en fonction des innovations technologiques et/ou des modifications de la logistique portuaire, qui serviront de base à l'établissement de scénarii détaillés par les partenaires du programme.

## 1 Raccordement Electrique à Quai (CENAQ)

<b>I – Connexion Electrique des Navires A Quai CENAQ</b>	
<b>Fiche 1</b>	<i>Raccordement des Navires au réseau avec prise en compte de la méthode de production d'Electricité</i>

<b>Responsabilité</b>	<i>Ports / Armateurs / EDF &amp; Fournisseurs</i>	<b>Disponibilité</b>	<i>Actuel / Court-Terme</i>
-----------------------	---	----------------------	-----------------------------

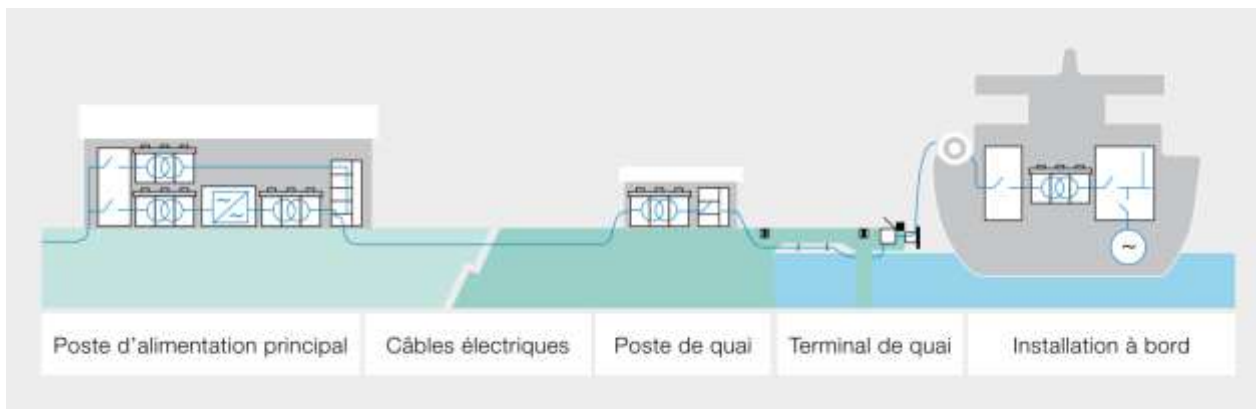


Figure 5 : Schéma de connexion d'un navire à quai – ABB

### Description :

Quand un navire fait escale dans un port, il doit la plupart du temps maintenir ses groupes électrogènes de bord en marche afin d'assurer les fonctions essentielles (sécurité, logistique d'escale, services primaires/ventilation, etc.) Dans le but de réduire drastiquement les émissions de polluants émis par les navires en stationnement au port, la principale solution en projet actuellement se tourne vers le raccordement électrique au réseau de manière à stopper entièrement les machines, supprimant par la même occasion le bruit occasionné.

Ce projet s'inscrit dans le cadre de la Connexion Electrique des Navires A Quai (CENAQ<sup>10</sup>), mis en place dans la plupart des grands ports commerciaux disposant d'un réseau électrique adapté. Le sujet devient néanmoins plus complexe quand les infrastructures actuelles de production d'énergie ne sont pas suffisamment dimensionnées pour assurer les besoins des navires (~2MW pour un ferry et jusqu'à ~10MW pour un paquebot de tourisme) ou non décarbonées.

Les technologies de branchement par câble électrique et les normes actuelles peuvent viser toutes les escales supérieures à 2h30, certaines contraintes étant incompressibles durant la connexion d'un navire à quai. A l'avenir, la possibilité de raccorder les navires par induction (sans avoir besoin de câbles donc) permettra de réduire au minimum la durée de stationnement sur groupe électrogène.

## Réduction des Emissions attendues :

Pour établir le gain global de cette solution, il est important de connaître la source de production électrique permettant le raccordement du navire. Si l'énergie disponible est produite à proximité du port, il faut prendre en compte les émissions indirectes locales afin de les inclure dans le calcul d'impact.

Dans le cas d'électricité décarbonée (panneaux solaires, hydrogène vert, nucléaire, etc.) ou bien d'une centrale thermique suffisamment éloignée de la zone portuaire, on peut considérer que les émissions locales sont nulles, le gain est donc maximal, la solution est donc zéro émission au niveau du port (ainsi que dans les modèles de simulation).

Dans le cas d'électricité produite sur le port ou à proximité immédiate au moyen d'une centrale thermique, de cogénération ou encore GNL, l'hypothèse d'une réduction totale des émissions n'est pas possible. Il faut donc prendre en compte le surplus d'émissions induites par la demande en énergie des navires. Le calcul des émissions se fera en estimant la quantité de polluants émis par rapport à la puissance nécessaire.

## Durée Utile :

Le CENAQ devient utile à partir du moment où les groupes électrogènes de bord sont entièrement arrêtés, et le courant de bord assuré par le réseau extérieur. Se termine cette phase utile au moment où les génératrices sont remises en marche pour préparer le départ. Le séquençage exact dépend du type de navire et d'escale, et la durée utile peut varier pour un temps de stationnement équivalent.

**Chronologie :** *7 Phases distinctes peuvent être identifiées lors d'une escale maritime.*

- 1 - Phase de Croisière Arrivée (PROP<sup>11</sup> ON, GEN<sup>12</sup> OFF, Hors Zone d'Etude)
- 2 - Phase de Manœuvre Arrivée (PROP ON, GEN OFF, Zone d'Etude)
- 3.1 - Phase à Quai sans CENAQ 1 (PROP OFF, GEN ON, Zone d'Etude)
- 3.2 - Phase à Quai CENAQ (PROP OFF, GEN OFF, Zone d'Etude)  
→ **Durée utile avec CENAQ ON**
- 3.3 - Phase à Quai sans CENAQ 2 (PROP OFF, GEN ON, Zone d'Etude)
- 4 - Phase de Manœuvre Départ (PROP ON, GEN OFF, Zone d'Etude)
- 5 - Phase de Croisière Départ (PROP ON, GEN OFF, Hors Zone d'Etude)

## Glossaire :

- T<sub>DEB</sub>** : Durée du débarquement avec GEN ON  
**T<sub>CENAQ</sub>** : Durée de la phase CENAQ avec GEN OFF  
**T<sub>EMB</sub>** : Durée de l'embarquement avec GEN ON  
**T<sub>QUAI</sub>** : Durée totale à quai avec PROP OFF (= **T<sub>DEB</sub>** + **T<sub>CENAQ</sub>** + **T<sub>EMB</sub>**)  
**T<sub>MAN1</sub>** : Durée totale de la manœuvre arrivée avec PROP ON  
**T<sub>MAN2</sub>** : Durée totale de la manœuvre départ avec PROP ON  
**T<sub>PROP</sub>** : Durée totale du navire avec PROP ON (= **T<sub>MAN1</sub>** + **T<sub>MAN2</sub>**)  
**T<sub>PORT</sub>** : Durée totale du navire dans la zone d'étude

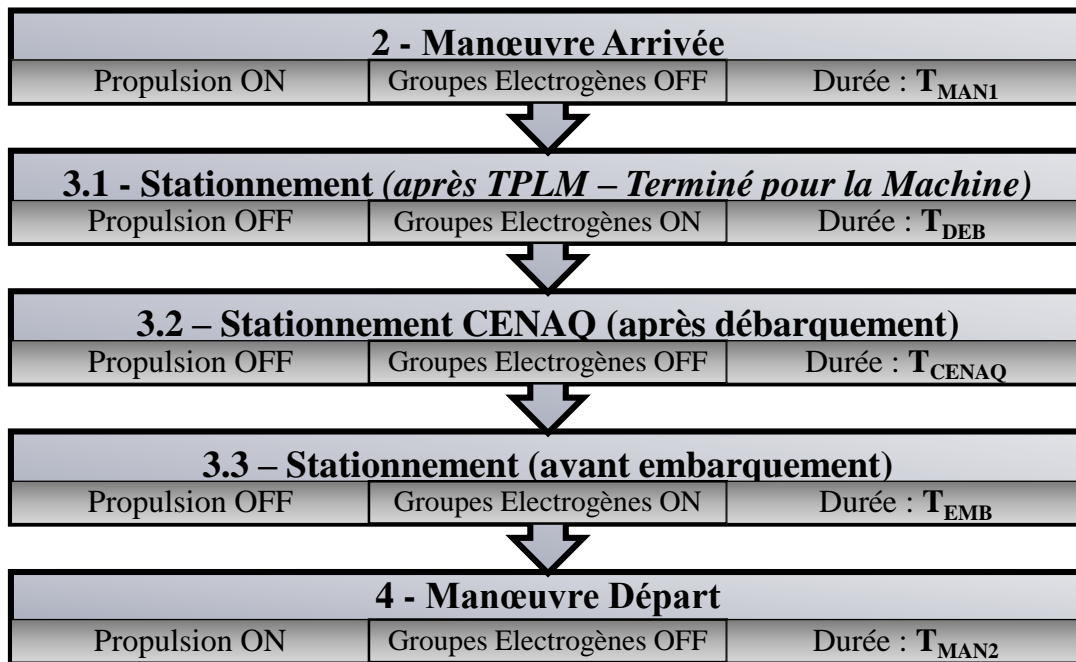


Tableau 2 : Chronologie partielle d'une escale avec CENAO

### Procédure de branchement à quai généralisée (Source Corsica Linea & La Méridionale):

Pour des raisons de sécurité afin d'éviter toute éventualité de black-out, ce n'est qu'une fois le débarquement terminé ( $T_{DEB} \sim 30\text{min}/1\text{h}$  en fonction du nombre de passagers / fret accompagné à débarquer) que l'opération de connexion électrique au quai est lancée :

- Un électricien du navire se rend au local de connexion et ouvre la porte de bordé.
- A l'aide d'une télécommande il oriente la potence de connexion quai vers le navire
- Il amène le câble en bout de potence dans le local de connexion et branche la prise de connexion de la potence.
- En salle de contrôle machine du navire, l'officier de quart machine lance la séquence de connexion du navire avec la terre se faisant en automatique. A l'issue de celle-ci, le transformateur et le tableau moyenne-tension sont sous alimentation 11 000V.
- Une fois cette connexion effectuée, l'officier de quart demande le couplage de la connexion terre avec les diesels alternateurs du navire. Le système de gestion d'énergie du navire ferme alors le disjoncteur basse tension et transfère progressivement la production électrique des diesels alternateurs vers l'alimentation quai.
- A la fin de la séquence de couplage l'intégralité des besoins électriques du navire est assurée par la terre et les diesels alternateurs sont stoppés.

Une fois le navire connecté, les groupes électrogènes sont stoppés, le réseau de bord est assuré par le raccordement à quai. Tout le processus dure en moyenne 15min.

## **Procédure de débranchement à quai généralisée (Source Corsica Linea & La Méridionale) :**

Dans la même optique, le processus inverse est lancé juste avant les essais sécurité du navire et la préparation à l'embarquement ( $T_{EMB} \sim 1h/2h$  en fonction du nombre de passagers / fret accompagné à embarquer).

- L'officier de quart machine demande le découplage de la connexion terre. Le système de gestion d'énergie du navire démarre les diesels alternateurs et transfère progressivement la production électrique du quai vers les diesels alternateurs. A la fin de la séquence le disjoncteur basse tension s'ouvre et la terre ne délivre plus aucune puissance au navire.
- L'officier de quart demande la déconnexion du navire à la terre. Cela est réalisé automatiquement par le navire. A la fin de cette séquence, l'installation moyenne tension du navire n'est plus sous tension.
- L'électricien du navire se rend alors au local de connexion, débranche la prise quai et remet la potence dans sa position de garage.

➔ La procédure totale respectant les contraintes de sécurité nécessite donc au minimum 1h30 de fonctionnement (jusqu'à 3h dans certains cas spécifiques) avec les groupes électrogènes. Cela est incompatible avec des escales courtes, notamment en période estivale pendant laquelle la phase à quai dure rarement plus de 2h.

## **Avantages / Inconvénients pour l'armateur :**

Un ferry consomme entre 500 et 2000 litres par heure de gasoil (1), la connexion au réseau permettrait des économies de carburant pour l'armateur (tout en incluant le coût du contrat électrique).

L'adaptation technique du navire peut s'effectuer durant les escales techniques de maintenance auxquels les navires sont soumis régulièrement. Les financements peuvent être mis en commun avec les régions et le Fonds Européen de Développement Régional (FEDER). Le coût oscille entre 1M€ et 1.5M€ par navire en fonction de la taille de celui-ci, avec une durée d'installation d'environ 4 semaines (2).

En effet, le navire doit être doté d'un tableau électrique supplémentaire câblé sur son tableau général et dans de nombreux cas, d'un transformateur abaisseur (3).

La difficulté technique réside dans la capacité à transférer sans coupure l'alimentation à bord lors de l'arrêt progressif des groupes électrogènes, et inversement au moment du départ tout en s'adaptant au standard international de tension pour les navires, à savoir 11 000 Volts.

## **Avantages / Inconvénients pour le port :**

Les travaux pour installer les bornes électriques nécessitent une logistique assurant la continuité des activités portuaires, et de relever les défis techniques de puissance et fréquence du réseau électrique de bord afin de s'adapter aux navires faisant escale. Un nouveau poste électrique doit être équipé de disjoncteurs et de sectionneurs, d'un interrupteur de mise à la terre automatisé, d'un transformateur, d'appareils de protection (transformateurs et relais de protection de ligne), de moyens de communication entre le navire et le quai, et souvent d'un convertisseur de fréquence pour adapter la fréquence du réseau terrestre à celle de chaque navire.

Les ferries consomment généralement entre 1 et 3 MW sur une fréquence de 50Hz. Les navires de croisière sont la plupart du temps sur la norme américaine en 60Hz et nécessitent jusqu'à 12MW.

La fourniture d'électricité se fait via l'achat à un fournisseur d'énergie, auquel cas des aides des collectivités sont nécessaires afin de proposer un prix correct à la revente, soit par une production direct du port (Parc photovoltaïque, Hydrogène, Etc.).

L'investissement dépend de la taille du port, de l'énergie disponible ainsi que du nombre de quais équipés. A titre d'exemple, le Grand port de Marseille (GPMM) a investi 20M€ en 2019 (4).

### **Exemple de projet CENAQ – La Méridionale :**

Après sept ans d'études et de négociation, le premier dispositif de branchement à quai a été aménagé en 2017 par le Grand Port de Marseille (GPMM) en partenariat avec la compagnie maritime La Méridionale, investissant au total 4.4 millions d'euros cofinancés par l'Agence de Transition Ecologique en France (ADEME) et le FEDER (5). Les trois navires (le Piana, le Girolata et le Kalliste) peuvent désormais couper leurs groupes électrogènes durant leurs longues escales (~12h).

En plus de l'économie de 1 200 tonnes de gasoil à quai, un bonus écologique portant sur la réduction des droits de port s'élevant à 216 000 euros par an est accordé par le port à la compagnie (6). L'estimation de la réduction tourne autour de 6 800 tonnes de CO<sub>2</sub>, 7.7 tonnes de particules fines, 49 tonnes de NO<sub>2</sub> et 4 tonnes de SO<sub>2</sub>, l'équivalent en émissions de particules (PM10) et de CO<sub>2</sub> de plus de 3 000 véhicules/jour et de 65 000 autres véhicules/jour pour les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) (7).

### **Informations importantes pour la description du scénario à renseigner par les partenaires locaux et ceux du projet :**

- Puissance nécessaire (*dépend du nombre et type de navires à brancher*)
- Puissance installée (*dépend de l'installation existante ou à créer du port*)
- Fréquence du réseau / navires (*50 ou 60Hz*)
- Temps nécessaire pour raccorder un bateau à quai (*Dépend des contraintes logistiques et de sécurité*)
- Coût Estimé (*Dépend des projets proposés*)
- Type d'énergie disponible (Nucléaire, Centrale thermique, Solaire, etc.)
- Disponibilité
- Réapprovisionnement combustible
- Législation matière dangereuse
- Place utilisée sur le port
- Temporalité d'utilisation
- Quantité de polluants émis indirectement par la production électrique hors de la zone d'étude

### **Informations importantes pour la modélisation du scénario:**

- Nombre de bateaux connectés
- Nombre et Emplacements des quais électriques envisagés
- Estimation des émissions induites de la production d'électricité dans la zone d'étude
- Fréquence d'utilisation de la centrale



## 2 Utilisation de Carburants Alternatifs

### 2.1 Navires GNL

II – Carburant Alternatif	
Fiche 2.1	Navires au GNL

Responsabilité	Armateurs	Disponibilité	Court- Terme / Moyen-Terme
----------------	-----------	---------------	-------------------------------



Figure 6 : Futur navire GNL de la Corsica Linea, Galeotta – Corsica Linea

#### Description :

Une solution pour réduire les émissions de polluants émis directement par les navires durant toute la durée de navigation / manœuvre réside dans l'utilisation d'un carburant alternatif au fuel lourd HSFO généralement utilisé, et fortement émetteurs de particules fines et soufrées.

Quelques navires fonctionnent déjà avec des carburants alternatifs de manière plus ou moins avancée.

C'est le cas notamment des **navires au GNL, Gaz Naturel Liquide**, carburant fossile connu pour émettre beaucoup moins de particules fines, oxydes d'azote et de soufre. Le gaz naturel est considéré par beaucoup comme un carburant abondant, économique et plus propre. Selon les prévisions, il devrait dépasser le charbon pour devenir la deuxième principale source d'énergie dans le monde – après le pétrole – d'ici 2040 (8).

Pour le transport par navire, le gaz naturel doit d'abord être refroidi pour devenir liquide afin d'en diminuer considérablement le volume. Dans sa forme liquide, connue sous le nom de GNL, le gaz naturel nécessite 600 fois moins d'espace lorsque tenu à une température de  $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$  à la pression atmosphérique pour un transport efficace sur de longues distances (9).



## Réduction des Emissions attendues :

Dans le cadre de la fiche 2.1, le navire arrivant au port fonctionne au GNL, et les émissions sont celles des moteurs de propulsion pour la phase manœuvre, et celles des groupes électrogènes pour la phase de stationnement. Comparativement aux combustibles traditionnels, la combustion du gaz naturel produit de 85 à 90 % moins d'oxydes de soufre (SOx) et de particules fines et de 35 à 85 % moins d'Oxydes d'Azote (NOx), selon le type de moteur. Une réduction moyenne de 25% des émissions de CO<sub>2</sub> est attendue également, la valeur réelle dépendant du carburant de comparaison ainsi que de la qualité du GNL.

A noter en revanche que la prise en compte des diverses méthodes d'extraction peut faire varier ce résultat à l'échelle globale. Le rejet involontaire méthane dans l'atmosphère causé par des fuites pendant la manutention / transport, ou encore par une combustion incomplète entraîne un effet de réchauffement climatique jusqu'à 25 fois plus important que celui causé par le dioxyde de carbone (dont le *Potentiel de Réchauffement Global (PRG)* a **25 fois plus d'impact que le CO<sub>2</sub> vis-à-vis de l'effet de serre**) (10).

En comparant les émissions par équivalents CO<sub>2</sub> et par tonne de cargaison transportée par navire sur 1 km, l'impact du GNL sur le réchauffement climatique est supérieur à celui d'un carburant HSFO à partir d'un rejet de méthane au-delà d'1% du volume total de GNL provenant du Qatar et de 2% pour celui passant par la Mer du Nord (11).

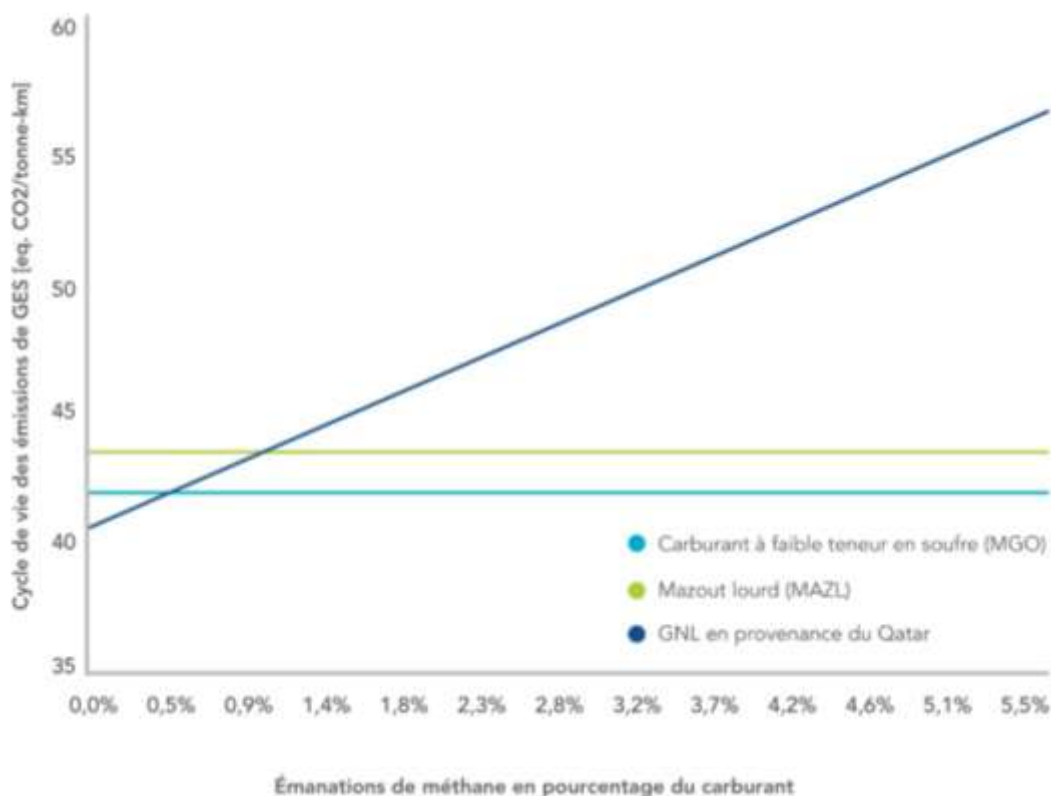


Figure 7 : Impact du cycle de vie du carburant sur le réchauffement climatique – ClearSeas

L'étude AER NOSTRUM ne se concentrant que sur l'impact local des solutions mises en place, les émissions indirectes ne seront pas prises en compte, d'autant plus si l'on considère les démarches de ravitaillement des navires comme étant suffisamment sécurisées pour éviter toute fuite.

## Durée Utile :

Le navire fonctionnant intégralement au GNL verra ses émissions de particules fines drastiquement diminuer durant toute la durée de l'escale. Il n'est pas prévu qu'il soit branché à un système de raccordement électrique à quai, son réseau de bord étant également assuré par le GNL.

## Adaptation des navires :

Avant que les navires soient convertis pour utiliser le GNL comme carburant, un certain nombre d'étapes s'imposent, notamment :

- Étudier la faisabilité de la conversion en considération de l'âge, de l'état et de la structure du navire
- Identifier les chantiers navals disponibles et capables d'accomplir la conversion
- Installer de nouveaux moteurs, moteurs auxiliaires et réservoirs de carburant conçus pour le GNL
- Effectuer des essais et des inspections à des fins d'assurance de la qualité et pour confirmer que toutes les exigences de la société de classification sont satisfaites
- Entreprendre des essais en mer pour vérifier que le navire fonctionne correctement
- Former l'équipage pour assurer l'utilisation sécuritaire et efficace du nouveau type de carburant

## Risques et logistique du GNL :

Comme évoqué précédemment, les principaux risques concernent les fuites de méthane au cours du cycle de vie du GNL, depuis l'extraction jusqu'à l'utilisation en passant par les étapes de liquéfaction à  $-160^{\circ}\text{C}$ , transportation et stockage.

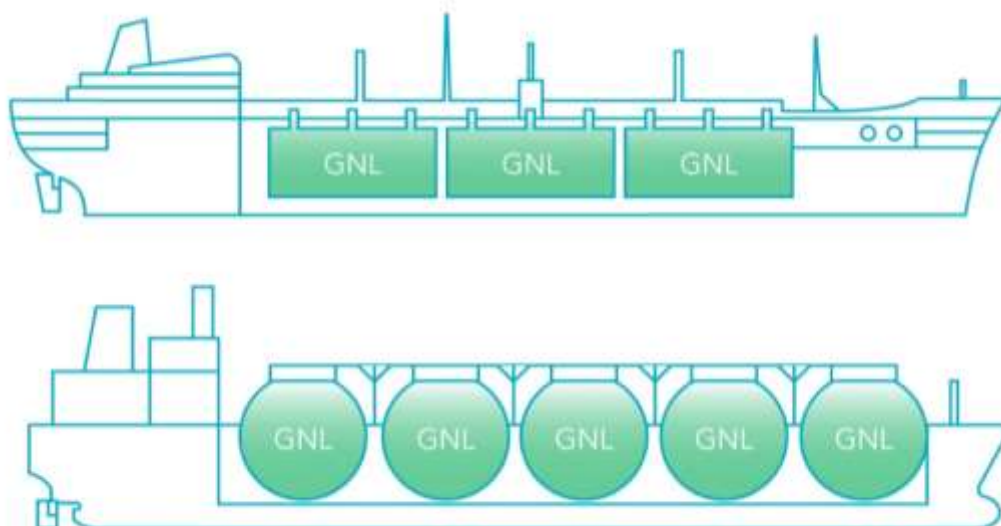


Figure 8 : Navires-transporteurs de GNL – ClearSeas

Les navires-transporteurs de GNL sont conçus et construits avec de nombreux dispositifs de sécurité, dont des réservoirs isolés et des structures à double coque, mais aussi :

- Système de sécurité anti débordement permettant l'arrêt automatique du chargement des réservoirs de cargaison lorsqu'un certain niveau est atteint.
  - Valves de protection contre la surpression sur chaque réservoir permettant de maintenir la pression à un niveau idéal durant tout le voyage.
  - Procédures de sécurité poussées et formations approfondies assurant la sûreté des opérations.
- (12)

Au cours des 60 dernières années de transport de GNL, des déversements de GNL mineurs ont été répertoriés lors des opérations de chargement et de déchargement de cargaison. Sa forme liquide n'est pas inflammable, et le GNL forme rapidement un nuage de vapeur en cas de déversement, présentant un risque d'incendie en présence de chaleur ou autres sources d'ignition. De plus, des dommages cryogéniques sont possibles au vu de la température initiale de la forme liquide, ainsi qu'une suffocation du fait de la forte concentration en gaz.

Ces déversements sont néanmoins peu probables compte tenu des nombreuses normes de sécurité techniques et logistiques ainsi que des mesures de surveillance actives qui sont mises en place pour réduire le risque d'attaque délibérée.

### **Informations importantes pour la description du scénario à renseigner par les partenaires locaux et ceux du projet :**

- Coût Estimé
- Logistique d'avitaillement
- Disponibilité
- Gain brut attendu en pourcentage de réduction de polluants
- Adaptation éventuelle des navires

### **Informations importantes pour la modélisation du scénario:**

- Nombre de bateaux GNL
- Mix GNL / Fuel lourd
- Emissions du navire GNL

Cette fiche concerne principalement les armateurs qui devront fournir de nouvelles données d'émissions associées à cette technologie. La logistique d'avitaillement sera décrite par les ports et les fournisseurs d'énergie. Plus d'informations sur <https://clearseas.org/fr/gnl/>.

## 2.2 Navires Ammoniac

<b>II – Carburant Alternatif</b>	
<b>Fiche 2.2</b>	<i>Navires à l'Ammoniac NH<sub>3</sub></i>

<b>Responsabilité</b>	<i>Armateurs</i>	<b>Disponibilité</b>	<i>Court- Terme / Moyen-Terme</i>
-----------------------	------------------	----------------------	---------------------------------------



Figure 9 : Représentation d'un navire fonctionnant à l'Ammoniac – Impression d'artiste par N. de Vries

### **Description :**

Une solution pour réduire les émissions de polluants émis directement par les navires durant toute la durée de navigation / manœuvre se tourne progressivement vers l'**ammoniac** comme carburant alternatif, principalement à destination des porte-conteneurs. Les affréteurs, les constructeurs, les compagnies de transport et même les financiers du secteur ont tous compris aujourd'hui qu'il faudrait introduire rapidement des **cargos « zéro émissions »**. Le gaz naturel liquéfié est - malgré ses qualités - une technologie qui ne réduit que peu, voire pas du tout, les émissions de GES, notamment du fait des **fuites de méthane** en amont de la chaîne d'approvisionnement, et lors du fonctionnement des moteurs.

L'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ), constitué d'azote et d'hydrogène, fait désormais figure d'option privilégiée. Gazeux à température et pression standard, on le liquéfie à  $-33^\circ\text{C}$ , il peut être gardé liquide à 10 bars ou, de préférence, sous forme « cryo-compressée » (13). Il devient particulièrement intéressant dans le cadre d'une production renouvelable, qui n'est pas majoritaire pour le moment, étant principalement produit à partir du méthane.

Son utilisation est mixte, soit dans certaines  **piles à combustibles**  ou bien dans les  **gros moteurs diesel des navires actuels** , après quelques modifications. Ce carburant est néanmoins connu pour être  **corrosif, toxique et odorant** . Difficilement inflammable, il a besoin d'additifs (hydrocarbure/ hydrogène, etc.) pour être utilisé dans un moteur thermique. L'hydrogène peut d'ailleurs être extrait de l'ammoniac à bord du navire ( $2\text{NH}_3 \rightarrow 3\text{H}_2 + \text{N}_2$ ).

Sa combustion ne produit  **pas de dioxydes de carbone**  mais  **une quantité importante d'oxydes d'azote** , nécessitant un système de dépollution efficace en aval (par Réduction Catalytique Sélective,  **SCR** ) utilisant également de l'ammoniac en tant qu'agent réducteur.

A ce jour, l'utilisation de l'ammoniac en tant que carburant dans un moteur à combustion adapté revient à 3.2 fois plus cher qu'un carburant conventionnel à 0.5% pour un même trajet. (14) Ce coût aura tendance à baisser avec l'amélioration des procédés de fabrication d'ammoniac vert. Son utilisation via des piles à combustible nécessite davantage de recherche avant d'être suffisamment rentable mais pourra devenir une technologie bien présente dans le paysage maritime à l'avenir.

### **Réduction des Emissions attendues :**

Dans le cadre de la fiche 2.2, le navire arrivant au port fonctionne à l'ammoniac, et les émissions sont celles des moteurs de propulsion pour la phase manœuvre, et celles des groupes électrogènes pour la phase de stationnement. Il est important de prendre en compte les réductions de particules fines et de  $\text{CO}_2$ , mais aussi et surtout de l'augmentation éventuelle des émissions d'oxyde d'azote  $\text{NO}_x$  qui sont en principe traités en sortie moteur grâce à l'ajout d'un système de dépollution SCR. Le même produit sert de carburant principal ( $\text{NH}_3$ ), de carburant pilote (décomposition en  $\text{H}_2$ ), et de réducteur de  $\text{NO}_x$ .

Ici encore, les émissions indirectes non locales ne sont pas prises en compte par l'étude AER NOSTRUM.

### **Durée Utile :**

Le navire fonctionnant intégralement à l'ammoniac verra ses émissions de particules fines et  $\text{CO}_2$  drastiquement diminuer durant toute la durée de l'escale.

## **Risques de l'Ammoniac :**

L'ammoniac étant légèrement moins inflammable qu'un carburant conventionnel, le risque en est diminué. En revanche sa toxicité fait que de nombreux systèmes de sécurités doivent être mis en place afin de prévenir et/ou contenir tout risque de fuite. Si celui-ci se retrouve à forte concentration dans l'environnement, il peut nuire aux organismes vivants et causer une réelle menace sur l'équilibre de la biodiversité. Des niveaux normaux peuvent être naturellement retrouvés après certains temps via le cycle naturel de l'azote dans l'air et l'eau. (14)

En tant que carburant maritime, il est soumis aux mêmes risques qu'un combustible classique (défauts de pressions, problèmes au niveau du circuit d'approvisionnement, etc.). A noter toutefois que la présence d'hydrogène suite à la décomposition de l'ammoniac avant combustion dans une utilisation thermique de l'ammoniac entraîne des risques d'inflammabilité plus importants.

Afin de réduire les risques, en plus des systèmes de détection d'hydrogène et d'ammoniac combinés à une ventilation, des vannes automatiques doivent pouvoir s'actionner en cas de fuite.

## **Informations importantes pour la description du scénario à renseigner par les partenaires locaux et ceux du projet :**

- Coût Estimé
- Logistique de ravitaillement
- Disponibilité
- Gain brut attendu
- Possibilité d'adapter des navires existants

## **Informations importantes pour la modélisation du scénario:**

- Nombre de bateaux NH<sub>3</sub>
- Mix NH<sub>3</sub> / Fuel lourd
- Emissions du navire NH<sub>3</sub>

La technologie étant toujours en cours de développement, cette fiche se présente comme base hypothétique pour des projets futurs. De nouvelles données d'émissions doivent être récupérées de la part des armateurs.

## 2.3 Navires à l'Hydrogène, Electriques et Hybrides

<b>II – Carburant Alternatif</b>	
<b>Fiche 2.3</b>	<i>Navires à l'Hydrogène, Electriques et Hybrides</i>

<b>Responsabilité</b>	<i>Armateurs / Ports</i>	<b>Disponibilité</b>	<i>Moyen-Terme / Long-Terme</i>
-----------------------	--------------------------	----------------------	---------------------------------



Figure 10 : MS Roald Amundsen, Navire hybride – Hurtigruten

### Description :

Une solution plus futuriste mais déjà utilisée implique l'utilisation de **navires complètement électriques**, n'émettant virtuellement aucune émission, avec comme support de stockage d'énergie de l'**hydrogène** couplé à des piles à combustibles, ou bien directement des **batteries**. Cette option peut aussi se présenter sous la forme de navires hybrides pouvant basculer sur un fonctionnement totalement sans émissions en mode électrique (H<sub>2</sub> ou Electrique). C'est déjà le cas pour certains navires de tourisme naviguant dans des zones sensibles comme les fjords norvégiens, capable de fonctionner jusqu'à une trentaine de minutes sans émissions. Cela pourrait alors supprimer la phase de manœuvre particulièrement émissive en utilisation classique.

### Réduction des Emissions attendues :

Dans le cadre de la fiche 2.3, le navire arrivant au port fonctionne entièrement de manière électrique. Une hypothèse impliquant des navires hybride est possible, utilisant un carburant plus conventionnel pour la phase croisière, et un changement en tout électrique à l'approche des ports à l'instar des voitures hybrides passant au moteur thermique sur autoroute. Le gain serait ainsi maximal



puisque qu'aucune émission ne serait engendrée par l'escale des navires. La technologie n'est pas encore suffisamment mature à ce jour mais cela équivaldrait à la solution dans lequel les émissions seraient totalement réduites à la source.

Dans le cas de navires hybrides, cela dépend de la technologie embarqué mais certains armateurs comme Hurtigruten en Norvège annoncent des gains de l'ordre de 20% de CO<sub>2</sub> (3000 tonnes en moins par an (15)) en profitant de modes électriques de 15-30min (16).

### Projets en cours :

La **Norvège** est pionnière en matière de recherche sur un transport maritime décarboné, de par la présence de nombreux fjords aux environnements sensibles qui nécessitent une attention particulière pour réduire l'impact du trafic.

La compagnie **Bastø Fosen** qui dessert la traversée du fjord d'Oslo entre Horten et Moss sur 10km a décidé de convertir ses trois ferries fonctionnant au diesel en navires électriques. Ce sont 3,8 millions de passagers et 1,8 million de véhicules qui sont transportés chaque année, faisant ainsi de ce trajet la route maritime la plus fréquentée de Norvège.

Le premier d'entre eux – le **Bastø Electric** – peut maintenant transporter 200 voitures et 600 passagers grâce à une batterie de 4.3MWh se rechargeant en 30 min à quai, le temps de réaliser les opérations de débarquement et embarquement.

Lorsque les 3 ferries qui assurent la traversée du fjord seront électrifiés, leurs émissions de CO<sub>2</sub> seront réduites de 75%. Selon une étude de **Siemens Energy**, l'empreinte carbone engendrée par la fabrication des batteries et la conversion des bateaux à la motorisation électrique sera compensée en moins de 7 ans (17).



Figure 11 : Le Bastø Electric, plus grand navire électrique au monde (139m) – Révolution Energétique



Un autre exemple est celui du premier porte-conteneurs électrique – le **Yara Birkeland** - de la société Yara qui l'exploite depuis peu afin de réaliser des trajets quotidiens d'une dizaine de kilomètres remplaçant à l'année 40 000 trajets habituellement effectués par camion. Le pack énergétique de 6.8MWh assure une autonomie de 120km. Le contrat a été évalué à environ 25 millions d'euros et confié aux **chantiers VARD** (18).



Figure 12 : Le Yara Birkeland, premier Cargo 100% électrique – Révolution Energétique

### **Durée Utile :**

Le navire fonctionnant intégralement à l'électricité à l'approche des ports, notamment dans la phase manœuvre et stationnement (sur batterie ou via H<sub>2</sub>), toute l'escale est donc prise en compte.

A noter que cette fiche est compatible avec le raccordement électrique à quai, dans l'hypothèse où il peut assurer le réseau de bord à quai et recharger les batteries d'un éventuel mode hybride.

### **Informations importantes pour la description du scénario à renseigner par les partenaires locaux et ceux du projet :**

- Coût Estimé
- Maturité du projet
- Logistique d'avitaillement (réservoir d'H<sub>2</sub> pour pile à combustible / CENAQ pour recharger les batteries et assurer le réseau de bord à quai).

### **Informations importantes pour la modélisation du scénario:**

- Nombre de bateaux Electriques
- Modalités d'utilisation d'un mode hybride (temporalité et émissions liées)

### 3 Améliorations technico-logistique du port et des navires

#### 3.1 Filtration des émissions polluantes (scrubber humide/sec & FAP)

<b>III – Améliorations Technologiques</b>	
<b>Fiche 3.1</b>	<i>Dépollution (Scrubber &amp; FAP)</i>

<b>Responsabilité</b>	<i>Armateurs</i>	<b>Disponibilité</b>	<i>Actuel / Court-Terme</i>
-----------------------	------------------	----------------------	---------------------------------

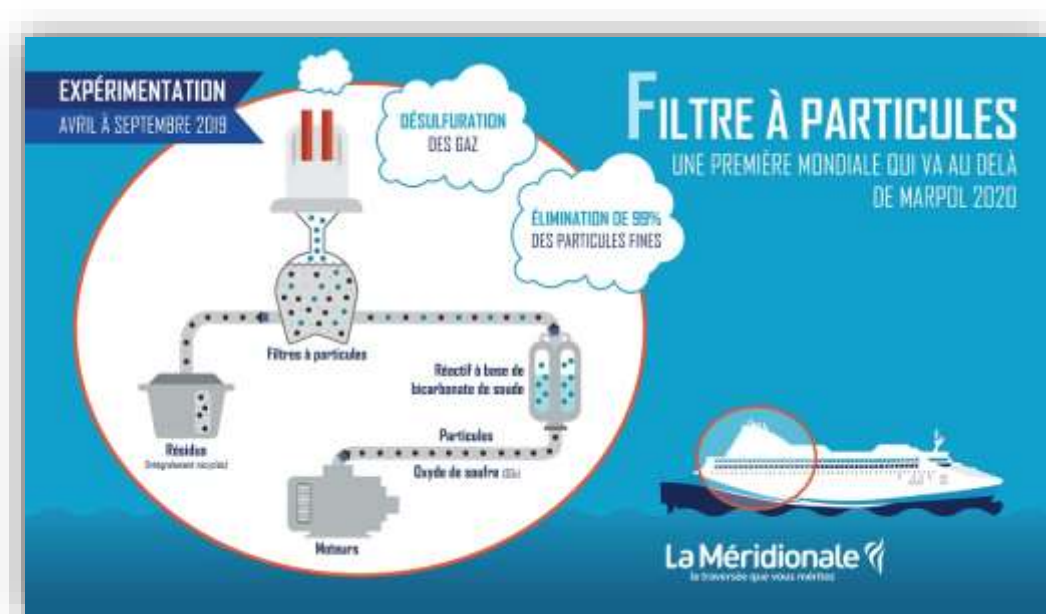


Figure 13 : Schéma de fonctionnement d'un filtre à particules sec – La Méditerranée

#### Description :

Afin de réduire les émissions de polluants émis directement par les navires durant toute la durée de navigation / manœuvres, il est possible d'ajouter en amont des cheminées des **systèmes de dépollution**.

Depuis le 1er janvier 2020, la réglementation MARPOL impose un plafond de teneur en soufre en Méditerranée. Les émissions d'oxydes de soufre ne doivent pas dépasser 0.5%. Pour y parvenir, la majorité des navires qui relient la Corse au continent sont dotés d'un système de lavage des fumées appelé scrubber, pour capter les particules toxiques. Si certains utilisent des boucles "fermées" pour stocker à bord les eaux contaminées et les déchets en vue d'un traitement à terre, d'autres utilisent des boucles ouvertes qui rejettent les eaux polluées en mer.

**Un traitement des fumées humide** est un procédé qui utilise l'eau de mer dans une tour de lavage pour réduire les émissions polluantes d'un navire. Dans ce scénario, les eaux usées contenant des sulfates et d'autres éléments (métaux, suie...) sont rejetées dans la mer (dans un système en boucle ouverte) ou stockées sur le navire (dans une "boucle fermée").

L'évolution de la réglementation sur le rejet des boucles ouvertes interdit leur utilisation depuis janvier 2022 mais une dérogation est possible jusqu'à janvier 2026 en France pour certains armateurs (19) (20).

**Un traitement sec**, comme son nom le suggère, n'utilise pas d'eau. Un procédé de traitement des gaz de combustion utilise un réactif à base de bicarbonate de sodium éliminant « en théorie » jusqu'à 100 % des SO<sub>x</sub> et plus de 99 % de particules. Aucun déchet, résidu ou polluant n'est rejeté dans l'air ou dans la mer grâce à un **recyclage des résidus sur terre** (21) :

- Le réactif à base de sodium est chargé sur le navire et stocké dans des silos à bord.
- Pendant le processus, il est injecté dans les gaz d'échappement du navire. Le résidu de sulfate de sodium résultant d'une réaction avec les SO<sub>x</sub> dans les gaz d'échappement est filtré et éliminé de la cheminé du bateau, avec d'autres particules comme les micro-polluants, la suie, etc.
- Les résidus sont collectés et stockés dans les silos à bord, jusqu'à ce qu'ils soient déchargés pour être traités sur terre.

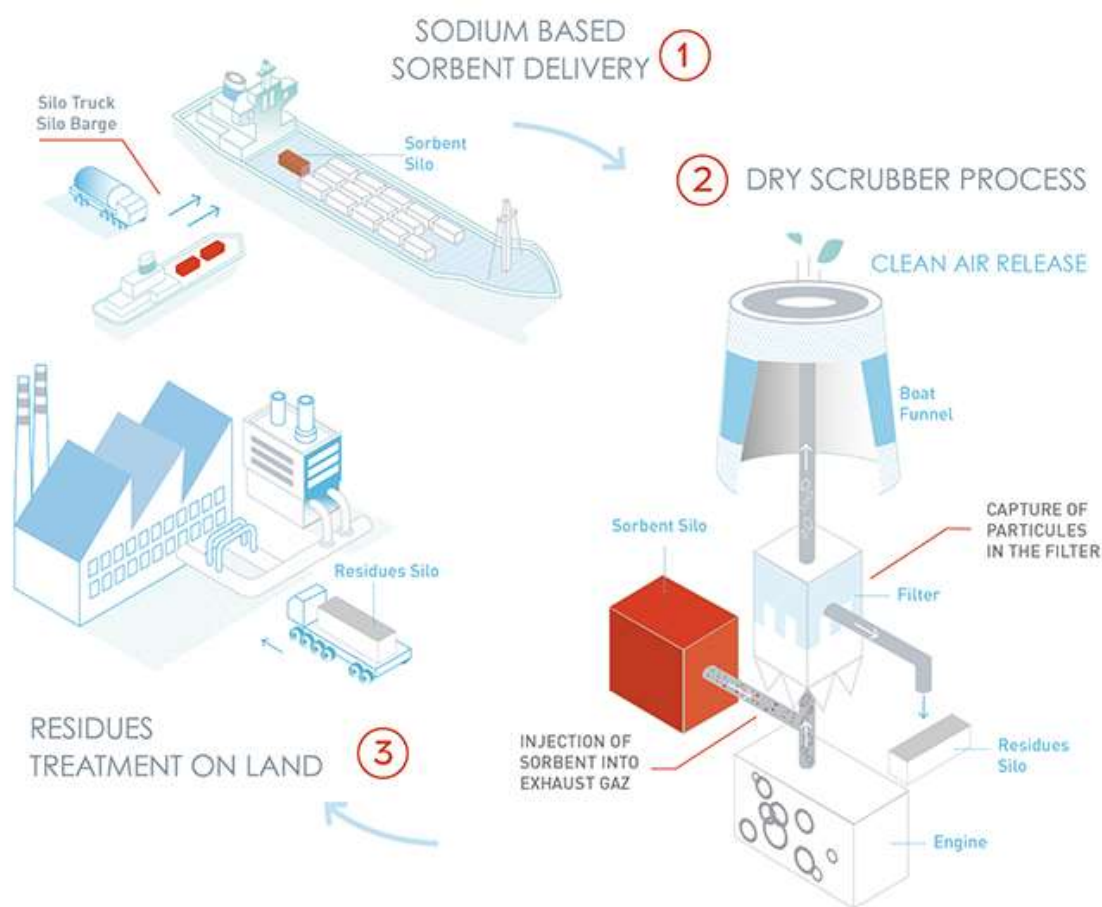


Figure 14 : Cycle de traitement des fumées, procédé sec – Solvair Solutions

## **Réduction des Emissions attendues :**

Cela dépend de la technologie utilisée ainsi que de la quantité de filtres pour le nombre de moteurs. Les performances attendues sont de l'ordre de 99.9% de réduction des particules fines, ainsi qu'une réduction des SO<sub>x</sub> en dessous des seuils réglementaires (22).

L'efficacité des filtres permet de respecter les seuils d'émission réglementaires et de pouvoir dans certains cas utiliser du carburant moins onéreux dont la teneur en soufre est élevée (jusqu'à 3,5 %) (23).

## **Caractéristiques d'un traitement sec des fumées :**

- Taux d'élimination des particules plus élevé qu'un procédé à l'eau (plus de 99%)
- Installation sans cale sèche possible en quelques semaines
- Combinaison possible avec la réduction catalytique sélective (SCR) DeNO<sub>x</sub> pour des synergies significatives
- Baisse des dépenses d'investissement et des dépenses d'exploitation
- Meilleur taux de disponibilité
- Moins de main-d'œuvre requise pour l'entretien et l'exploitation
- Non toxicité du réactif
- Aucun effluent rejeté dans la mer
- Les résidus peuvent être traités et recyclés sur la terre ferme

## **Durée Utile :**

Le navire fonctionnant intégralement avec ses filtres, moteurs de propulsion ou groupes électrogènes, toute l'escale est donc prise en compte.

## **Coût Estimé par navire :**

En se basant sur les investissements opérés par l'armateur La Méridionale, le coût d'installation complète d'un scrubber sec est d'environ **10M d'euros** (24). L'investissement peut faire l'objet d'un cofinancement avec la région, le port ou même encore l'UE (25).

## **Informations importantes pour la description du scénario à renseigner par les partenaires locaux et ceux du projet :**

- Coût Estimé
- Temps d'adaptation
- Disponibilité

## **Informations importantes pour la modélisation du scénario:**

- Nombre de bateaux équipés
- Nombre de moteurs équipés par navire

### 3.2 Filtration du carburant et des huiles

III – Améliorations Technico-Logistiques	
Fiche 3.2	Dépollution Amont (Filtration Huiles / Carburant)

Responsabilité	Armateurs	Disponibilité	Actuel / Court-Terme
----------------	-----------	---------------	----------------------

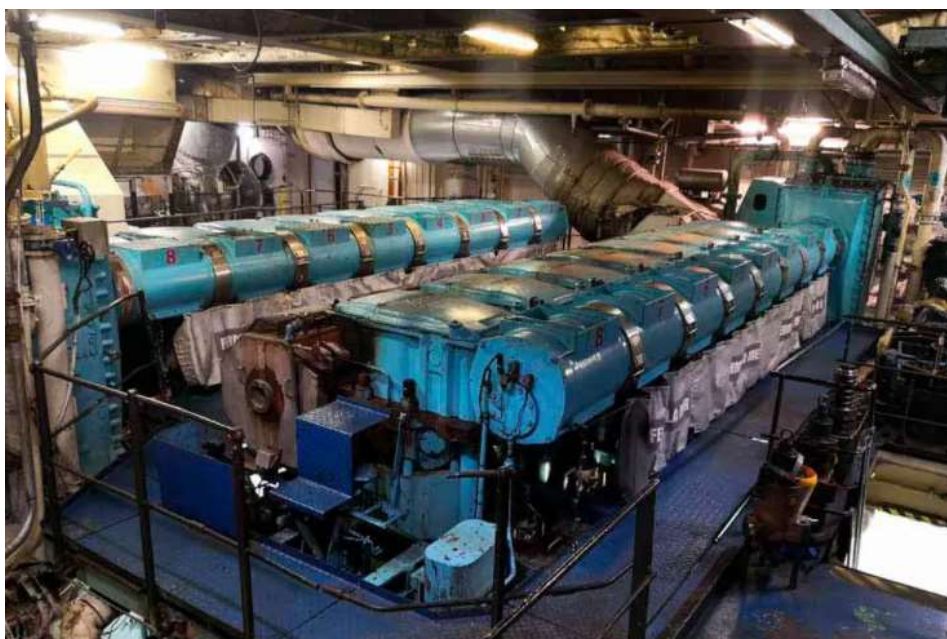


Figure 15 : Moteur MP4 du Girolata de la Méridionale testé avec la technologie OCEAMm – OCEAMm

#### Description :

L'utilisation d'un carburant plus propre en amont permet de réduire significativement les émissions de particules soufrées à la cheminée. Pour ce faire, un **système de filtration des huiles et/ou du carburant** est installé en amont du moteur afin de bénéficier d'une combustion plus complète.

Il est possible également d'envisager des procédés permettant d'optimiser la combustion du carburant et ainsi réduire les émissions de polluants avant échappement, au travers d'ajout d'additif sans modification des moteurs traités. Des essais d'EcoSoftec sur le *Girolata* de la **Méridionale** en partenariat avec l'Agence de Développement de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie – **ADEME** – visent l'Optimisation de la Combustion et des Émissions à l'Atmosphère des Moteurs marins **OCEAMm**, réduisant jusqu'à 95% des particules ultra fines (en nombre) et 25% des particules fines (en masse) (26).



## Réduction des Emissions attendues :

La réduction des émissions dépend de la technologie utilisée ainsi que de la qualité du filtre et du carburant initial. Le cas précédent OCEAMm fait état d'une réduction des PM de 25% selon un laboratoire indépendant (CERTAM).

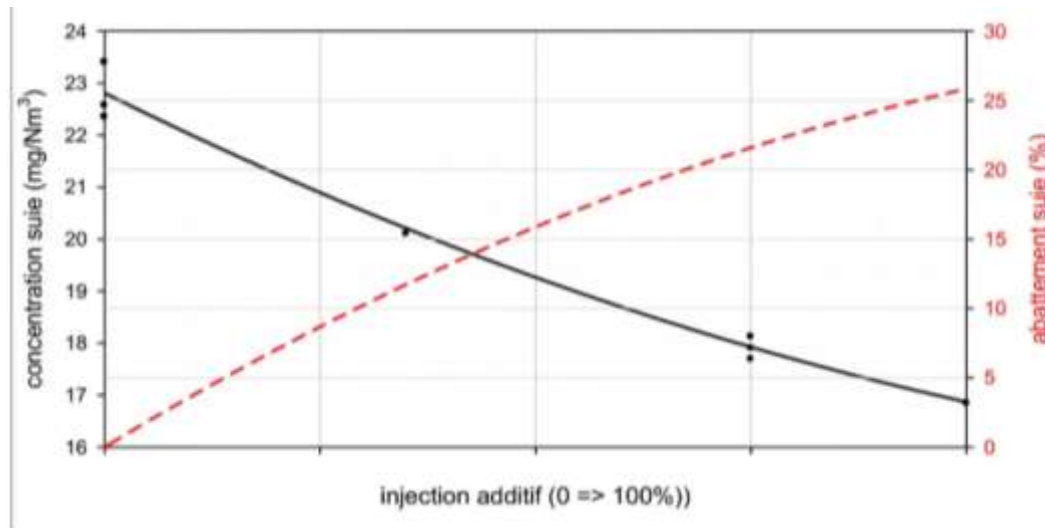


Figure 16 : Réduction des suies en fonction du taux d'additif à faible charge – OCEAMm

L'abattement total des particules fait même état d'une réduction de 90% en incluant les particules ultra fines au calcul. Plus d'informations sur <https://oceamm.com/fr/solution/test-la-meridionale.html>.

## Durée Utile :

Le navire fonctionnant intégralement avec ses filtres, moteurs de propulsion ou groupes électrogènes, toute l'escale est donc prise en compte.

## Informations importantes pour la description du scénario:

- Coût Estimé
- Temps d'adaptation
- Disponibilité de la technologie

## Informations importantes pour la description du scénario à renseigner par les partenaires locaux et ceux du projet :

- Nombre de bateaux équipés
- Nombre de moteurs équipés par navire

### 3.3 Maitrise de l'énergie et de la consommation (MDE)

<b>III – Améliorations Technico-Logistiques</b>	
<b>Fiche 3.3</b>	<i>Maitrise de la Demande en Energie (MDE<sup>13</sup>)</i>

<b>Responsabilité</b>	<i>Armateurs</i>	<b>Disponibilité</b>	<i>Actuel / Court-Terme</i>
-----------------------	------------------	----------------------	---------------------------------

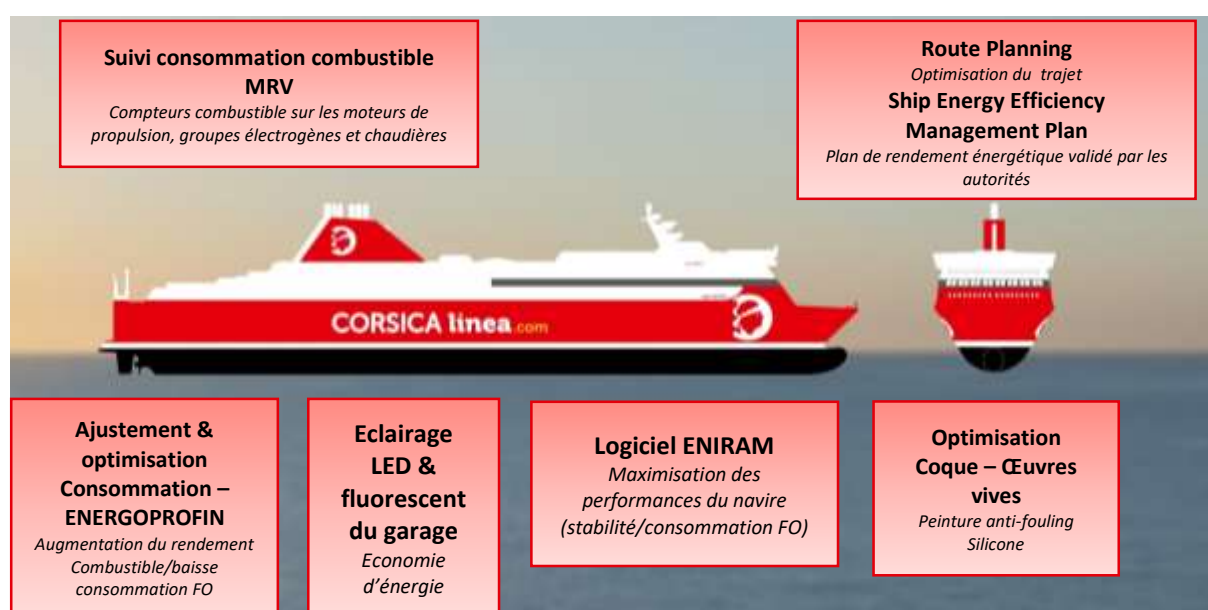


Figure 17 : Exemples d'actions MDE sur certains navires de la Corsica Linea – Corsica Linea

#### Description :

Bien que tous les navires d'une certaine catégorie (ferry, fret, tourisme, etc.) soient similaires dans les grandes lignes en terme de motorisation, tonnage et émissions, il est possible d'affiner l'échelle afin d'identifier les différences incluant une maitrise de la demande en énergie plus ou moins importante. Chaque navire dispose d'un champ d'action technico-logistique visant à **réduire la consommation globale au travers de solutions localisées**. Cela peut inclure l'amélioration du système électrique de bord jusqu'à l'optimisation du rendement des hélices et des trajets.

#### Réduction des Emissions attendues :

Il s'agit d'une étude au cas par cas. Les émissions des navires incluant déjà certaines de ces améliorations sont directement prises en compte dans la modélisation. En revanche, un armateur souhaitant faire des modifications de ce type sur un de ses navires existant, la réduction des émissions potentielle sera incluse dans les calculs de scénarii.

**Durée Utile :**

Le navire fonctionnant continuellement avec ces améliorations MDE, toute l'escale est concernée, sauf améliorations dépendant de la phase ou cas précis (Exemples d'améliorations sur les hélices notamment).

**Informations importantes pour la description du scénario à renseigner par les partenaires locaux et ceux du projet :**

- Coût Estimé par technologie
- Disponibilité des technologies

**Informations importantes pour la modélisation du scénario:**

- Nombre de bateaux équipés
- Type d'amélioration avec estimations des réductions de consommation



### 3.4 Logistique portuaire

<b>III – Améliorations Technico-Logistiques</b>	
<b>Fiche 3.4</b>	<i>Logistique Portuaire</i>

<b>Responsabilité</b>	<i>Ports</i>	<b>Disponibilité</b>	<i>Actuel / Court-Terme</i>
-----------------------	--------------	----------------------	---------------------------------



Figure 18 : Port de Savone avec navires directement dans la ville – CruiseMapper

#### **Description :**

A situation établie, toute une partie concerne la logistique portuaire qui peut être optimisée en fonction de l'impact de certains navires particulièrement polluants. Pour les ports les plus étalés et dans le cas où cela serait possible, une **réorganisation des navires à quai** peut être envisagée afin de privilégier des emplacements éloignés de la ville pour les escales longues / navires plus polluants mais aussi en fonction de la météo défavorable du jour.

A cela peut s'ajouter une **règle** encadrant les **vitesse de manœuvre** en fonction de certains paramètres (météo, durée d'escale, etc.).

Enfin, une **optimisation des temps de chargement / déchargement** peut avoir un impact sur la durée même de l'escale via les solutions offertes par le smart grid.

### **Réduction des Emissions attendues :**

Il s'agit d'une étude au cas par cas, tous les ports n'ayant pas forcément les mêmes contraintes. Les réductions des émissions sont principalement attendues durant la phase de manœuvre réglementée et les impacts sur la population amoindris en fonction de l'emplacement des navires polluants / escales longues.

### **Durée Utile :**

Toute la durée de l'escale ou seulement pour la phase de stationnement en fonction de la solution proposée.

### **Informations importantes pour la description du scénario à renseigner par les partenaires locaux et ceux du projet :**

- Coût Estimé par technologie
- Type de solution

### **Informations importantes pour la modélisation du scénario:**

- Législation en cours
- Paramètres de stationnement

## 4 Législation (Zone SECA)

<b>IV – Législation</b>	
<b>Fiche 4</b>	<i>Législation Locale / Nationale / Européenne</i>

<b>Responsabilité</b>	<i>Localité / Etat(s)</i>	<b>Disponibilité</b>	<i>Actuel</i> → <i>Long-Terme</i>
-----------------------	---------------------------	----------------------	--------------------------------------



Figure 19 : Panache de fumée d'un navire à Bastia en 2021 – Qualitair Corse

### Description :

Aujourd'hui, 90% du commerce international est transporté par la mer, plus précisément, par des cargos essentiellement alimentés à l'énergie fossile, fuel lourd en tête. Selon l'Organisation Maritime Internationale (OMI) elle-même, cela correspond à 3% des émissions mondiales de CO<sub>2</sub>. Mais les chercheurs tirent la sonnette d'alarme : d'ici à 2050, cette part pourrait grimper à 10% des émissions mondiales. Et selon un rapport de l'OMI de 2020, cela pourrait représenter de 90% à 130% des émissions de 2008.

En 2015, la France a joué un rôle clé lors des négociations au sein de l'OMI qui ont permis d'amender cette convention MARPOL, abaissant à 0.5 % la teneur en soufre des combustibles marins dès le 1er janvier 2020, contre 3.5 % auparavant (27).

Pour renforcer la mise en œuvre de cette nouvelle règle, l'OMI a également décidé, en 2018, d'interdire non seulement l'utilisation mais aussi le transport de combustible contenant plus de 0.5 % de soufre. L'objectif est de s'assurer que le navire ne consommera pas de combustible non conforme lorsqu'il sera en pleine mer, hors de toute zone de contrôle.

A partir du 1er janvier 2025, la législation se renforce, les navires traversant la Méditerranée ne seront autorisés à utiliser que des carburants à faible teneur en soufre dans l'objectif d'améliorer la qualité de l'eau et de l'air de cette zone maritime.

La Méditerranée deviendra une zone de contrôle des émissions d'oxydes de soufre **SECA**<sup>14</sup>: **Sulfur Emission Control Area** (28).

Cette obligation peut aussi servir de base à une réglementation plus locale pouvant imposer ces taux à moins de 3 miles des côtes. De plus, des écotaxes peuvent être envisagées pour limiter l'utilisation de navires jugés trop vétustes et inciter leur rénovation / remplacement.

### **Réduction des Emissions attendues :**

En fonction de la législation, l'impact global peut être diminué à minima aux niveaux attendus par la réglementation.

### **Durée Utile :**

Toute la durée de l'escale.

### **Informations importantes pour la description du scénario à renseigner par les partenaires locaux et ceux du projet :**

- Coût Estimé pour miser à jour des navires / du carburant utilisé.

### **Informations importantes pour la modélisation du scénario:**

- Législation à venir / actuelle

Il est important de noter qu'une partie de cette fiche sera obligatoirement pris en compte dans le cadre de l'instauration de la zone SECA en Méditerranée en 2025 (29).

## Méthodologie de passage des fiches aux scenarii

A partir de ces fiches, un travail de scénarisation se met en place afin de définir les solutions envisagées par et pour les différents ports du programme Européen. Après avoir présenté aux partenaires locaux (ports, armateurs, localités, etc.) ce travail bibliographique, il est important de définir avec eux les projets qui sont envisagés, le coût associé ainsi que les caractéristiques technico-logistiques nécessaires à la description précise du scénario (en fonction de la solution choisie, la fiche en question permet de clarifier quelles informations sont primordiales).

Un scénario se base alors sur une ou plusieurs fiches, appliquée(s) à un certain pourcentage plus ou moins important de navires. Les projets envisagés seront alors hiérarchisés par ordre de probabilité de mise en place.

Pour les partenaires disposant d'outils de modélisation (ARPAT, AtmoSud, UNIGE en coopération avec ARPAL et Qualitair Corse), il s'agit d'établir une estimation des gains de chaque projet et de la réduction de l'impact sur la qualité de l'air. Les émissions de polluants atmosphériques de 2021 couplés aux résultats des mesures sur le port serviront de base de comparaison avec les gains potentiels de chaque scénario.

En fonction de chaque fiche utilisée, les émissions des navires seront coefficientées selon l'apport de chaque solution, et l'impact recalculé. Il sera alors possible d'optimiser un scénario en variant certains paramètres (efficacité du filtre à particules, pourcentage d'utilisation du CENAQ par escale, etc.) agissant sur le total ou la fréquence des émissions.

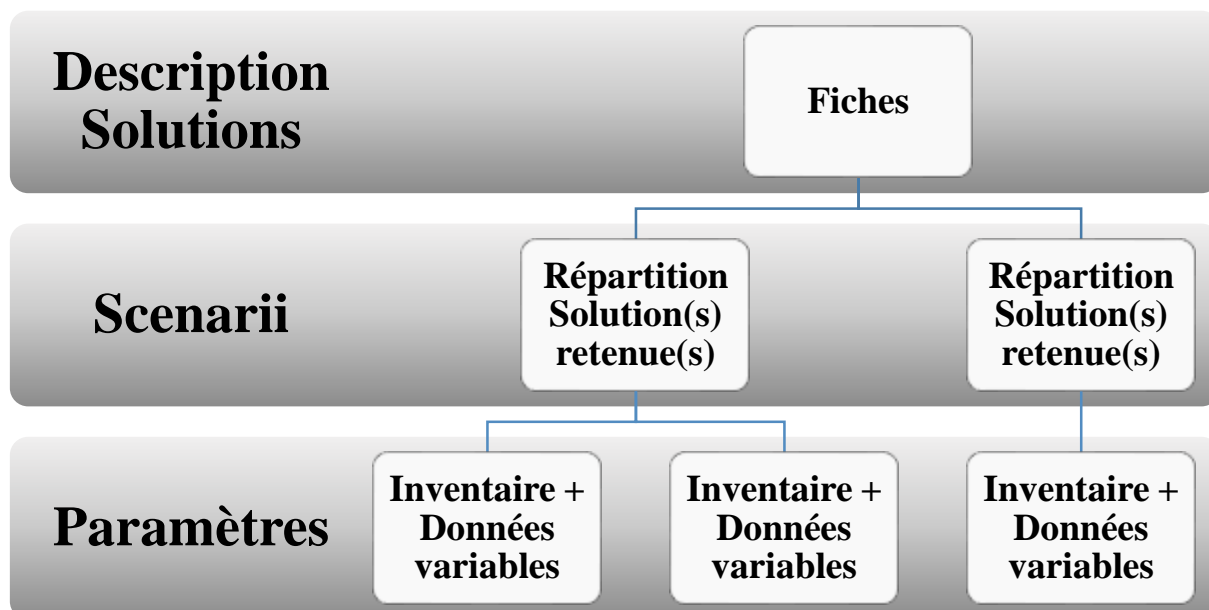


Tableau 3 : Méthodologie Fiches / Scenarii

**Exemple de Scenarii :** 50% des ferries connectés au CENAQ, le reste en GNL, tout en respectant la législation SECA 2025.

**Exemple de Paramètres :** Emissions plus ou moins importantes d'une centrale thermique sur le port, Temps de connexion à quai variable, Efficacité des Scrubbers, etc.

## Informations nécessaires pour la description d'un scénario AER NOSTRUM

### Partenaire concerné :

Qualitair Corse / AtmoSud / ARPAL / UNIGE / ARPAT / ARPAS / UNICA

### Port concerné :

Ajaccio / Bastia / Toulon / Nice / Gênes / Livourne / Cagliari / etc.

### **Scénario N°#**

<b>Description détaillée du scénario avec hypothèses de travail</b>	...
<b>Fiche(s) de solutions utilisée(s)</b>	...
<b>Période / Début de mise en place</b>	...
<b>Estimation du coût de l'investissement</b>	(Armateur / Port / Etat)
<b>Nombre et types de navires concernés</b>	Ferry / Ro-Ro / Cargo / Etc.
<b>Bilan des émissions attendues pour les polluants principaux</b>	SOX : √ % NOX : √ % PMX : √ % GES : √ %
<b>Phases de l'escale concernée</b>	(Croisière / Manœuvre / Stationnement)

Tableau 4 : Caractéristiques principales pour décrire un scénario



## Scenarii envisagés par les partenaires

### Scenarii Qualitair Corse

Afin de définir les scenarii envisagés dans le cadre du projet AER NOSTRUM pour les ports d' Ajaccio et de Bastia, deux comités techniques ont été organisés les 18 et 20 Janvier 2022. Au total, une dizaine de partenaires locaux ont été réunis ; la **Chambre de Commerce et d'Industrie (CCI2A & CCI2B)**, les compagnies maritimes **Corsica Linea** et **Corsica Ferries**, le fournisseur d'électricité **EDF**, la communauté d'agglomération du pays Ajaccien **CAPA** et la communauté d'agglomération de Bastia **CAB**, l'Office des Transports de la Corse **OTC**, la Collectivité de Corse **CDC**, l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie **ADEME**, le Secrétariat Général pour les Affaires de Corse **SGAC**, l'Agence de Développement Economique de la Corse **ADEC**, et les associations locales du Groupement d' Ajaccio et de la région Corse pour la Défense de l'Environnement **GARDE**, et **U Levante**.

En fonction des spécificités de chaque port, différents scenarii ont été envisagés pour Ajaccio et Bastia. Dans tous les cas, une modélisation de la situation actuelle sera réalisée grâce aux relevés de la campagne de mesure et des émissions de 2021 afin de travailler avec une base pertinente. Suite à la réalisation de ce « scénario zéro », comme évoqué dans le cadre de la fiche 4, toute la flotte en escale sur l'un des ports sera testée dans les conditions de la zone ECA Méditerranée à venir en 2025.

Un travail de hiérarchisation sera ensuite mis en place pour déterminer quelles solutions issues des fiches sont à tester à en priorité. Compte-tenu des contraintes techniques de la modélisation, un premier résultat portera sur la quantité de polluants estimée (Emissions des Scenarii), puis sur l'impact local via la modélisation de certains de ces scenarii jugés plus pertinents / probables sur des journées spécifiques ou via une moyenne mensuelle / annuelle.

### Ajaccio

Suite aux discussions avec les partenaires locaux d' Ajaccio, il est ressorti que la plupart des solutions envisagées tournent autour du raccordement électrique des navires à quai et l'arrivée prochaine de ferries GNL. Il faut savoir qu' Ajaccio a la particularité d'avoir une centrale thermique à proximité de la ville (Vazzino ~3.5km du port) et dont la production électrique rentre dans le mix énergétique de l'île. Raccorder les navires électriquement ne revient pas nécessairement à augmenter la production de la centrale (et donc les émissions) car l'électricité arrivant sur Ajaccio est issue d'une répartition contrôlée des différents modes de production disponibles en Corse (30) :

Puissance installée totale (*énergie hydraulique*) :

**199 MW**

Puissance installée totale (*énergie thermique*) :

**369 MW**

Puissance totale (*EDF Corse + imports des liaisons*) :

**718 MW**

dont 28% d'Énergie Renouvelable (Hydraulique / Solaire / Eolien...)

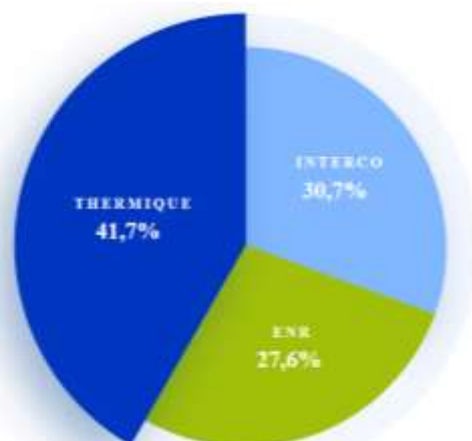


Figure 20 : Mix Énergétique en Corse

Le schéma ci-dessous présente le mix énergétique :

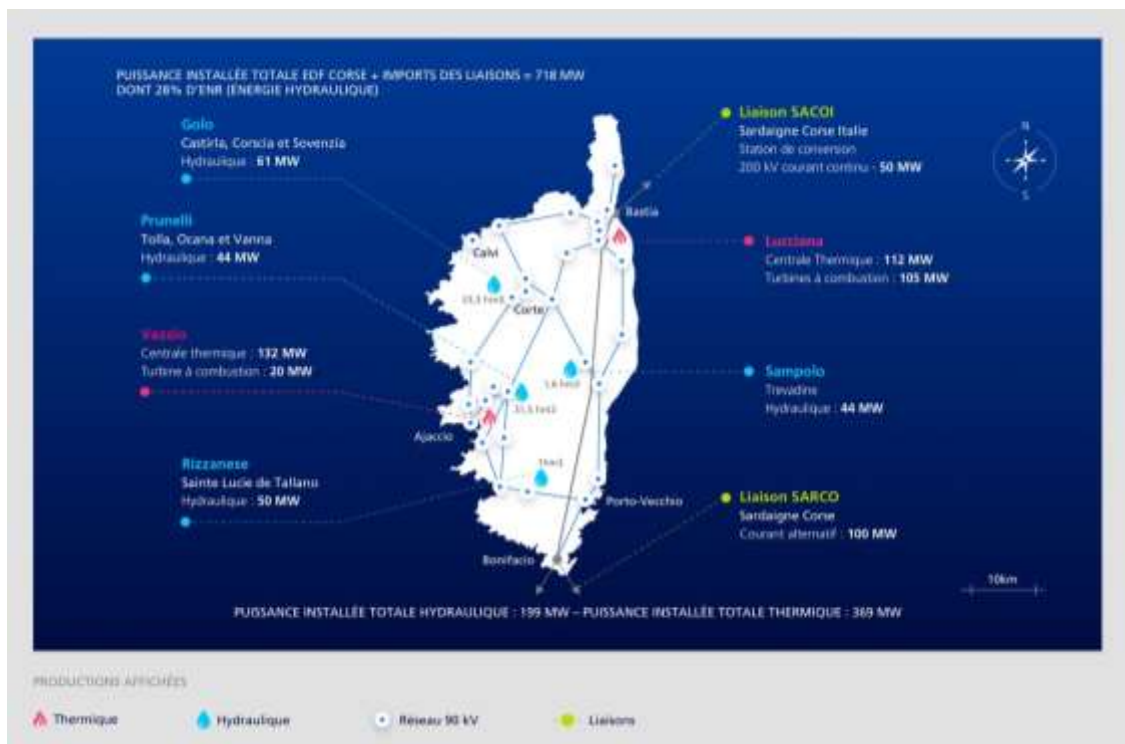


Figure 21 : Installations de production électrique d'EDF en Corse – EDF

Afin de quantifier le gain réel d'une solution de type CENAQ, il faut estimer avec EDF le potentiel accroissement des émissions sur la centrale du Vazzio pour assurer les demandes des ferries, et les inclure en pollution de fond dans le modèle dans la zone d'étude de 2.5km x 2.5km. Associés à des projets d'énergie renouvelable (parc photovoltaïque, centrale à hydrogène, etc.) soutenus par le port, l'impact pourra être amoindri ; le cas idéal serait que toute la demande en énergie des ferries puisse être assurée par un parc photovoltaïque dédié, permettant dans ce cas une solution complètement neutre en émissions.

Des scénarii prenant en compte un CENAQ plus ou moins neutre seront donc prévus afin d'établir une estimation plus précise du réel gain de cette solution en fonction des projets prévus sur Ajaccio.

Un nouveau navire de la Corsica Linea fonctionnant au GNL est prévu d'être exploité à partir de juin 2022, et sa prise en compte dans les scénarii peut être intéressante également à quantifier.

Les autres solutions présentées dans les fiches ne sont pas adaptées ou prévues pour le port d'Ajaccio à ce jour. L'outil de modélisation restera néanmoins disponible dans le cas de demandes particulières des armateurs souhaitant estimer le gain d'une solution technologique à bord ou des ports avec de nouvelles infrastructures.

Néanmoins, les solutions de type filtre à particule / scrubber sont déjà incluses dans l'inventaire des émissions, cela dépend donc des navires équipés ou non faisant escale au port.



La liste de scenarii pour lesquels un **calcul des émissions** sera réalisé pour Ajaccio est la suivante :

**Scénario 0** : Situation actuelle (Données de 2021)

**Scénario 1** : Flotte actuelle avec législation SECA (2025)

**Scénario 2.1** : 100% des navires avec escales > 2h30 sont connectés au CENAQ sans émission (production électrique neutre) et flotte actuelle

**Scénario 2.2** : 100% des navires avec escales > 2h30 sont connectés au CENAQ sans émission (production électrique neutre) et législation SECA

**Scénario 3.1** : 100% des navires avec escales > 2h30 sont connectés au CENAQ avec émissions en partie carbonées (estimation des gains avec EDF) et flotte actuelle

→ Déclinaison en scenarii intermédiaires avec des émissions plus ou moins importantes

**Scénario 3.2** : 100% des navires avec escales > 2h30 sont connectés au CENAQ avec émissions en partie carbonées (estimation des gains avec EDF) et législation SECA

→ Déclinaison en scenarii intermédiaires avec des émissions plus ou moins importantes

**Scénario 4** : Ajout d'un ou plusieurs navires au GNL à la flotte actuelle sans CENAQ

**Scénario 5** : Ajout d'un ou plusieurs navires au GNL à la flotte actuelle avec CENAQ

**Scénario 6** : Ajout d'un ou plusieurs navires au GNL à la flotte SECA sans CENAQ

**Scénario 7** : Ajout d'un ou plusieurs navires au GNL à la flotte SECA avec CENAQ

Scenarii \ Fiches	0	1	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3	3.4	4
	Base	CENAQ	GNL	NH3	ELEC/H2	Scrubber	Filtre Amont	MDE	Gestion Port	Normes SECA
Scénario 0	X									
Scénario 1										X
Scénario 2.1	X	X neutre								
Scénario 2.2		X neutre								X
Scénario 3.1	X	X								
Scénario 3.2		X								X
Scénario 4	X		X							
Scénario 5	X	X	X							
Scénario 6			X							X
Scénario 7		X	X							X

Figure 22 : Fiches utilisées pour les scenarii sur Ajaccio

Les scenarii sélectionnés pour la **phase de modélisation** sont les **0, 1 et 7**. En effet, la modélisation de l'impact actuel est primordial. La législation SECA est considérée comme certaine pour 2025. Enfin, le scénario 7 prend en compte l'arrivée de navires GNL à la flotte avec la possibilité de raccorder électriquement les navires à quai après 2025.

### **Modélisation : Scénario 0 ; Scénario 1 ; Scénario 7**

## Bastia

Le port de Bastia accueille principalement des escales de ferries, dont certaines très longues sont particulièrement adaptées à la solution CENAQ. Comme pour Ajaccio, une centrale thermique se situe aux alentours de Bastia, mais à une distance beaucoup plus importante cette fois-ci. La principale hypothèse faite dans le cadre de l'étude AER NOSTRUM est que le raccordement électrique des navires à quai sera considéré comme neutre sur les émissions locales (i.e. de la zone d'étude et des alentours très proches), car le potentiel accroissement de la charge sur la centrale de Lucciana à 20km est jugé négligeable car la centrale est trop éloigné pour avoir un impact significatif direct sur la ville. Pour le reste, les mêmes scénarii qu' Ajaccio sont envisagés.

La liste de scénarii avec **calcul des émissions** a donc été établie pour Bastia :

**Scénario 0** : Situation actuelle (Données de 2021)

**Scénario 1** : Flotte actuelle avec législation SECA (2025)

**Scénario 2.1** : 100% des navires avec escales > 2h30 sont connectés au CENAQ neutre et flotte actuelle

**Scénario 2.2** : 100% des navires avec escales > 2h30 sont connectés au CENAQ neutre et législation SECA

**Scénario 3** : Ajout d'un ou plusieurs navires au GNL à la flotte actuelle sans CENAQ

**Scénario 4** : Ajout d'un ou plusieurs navires au GNL à la flotte actuelle avec CENAQ

**Scénario 5** : Ajout d'un ou plusieurs navires au GNL à la flotte SECA sans CENAQ

**Scénario 6** : Ajout d'un ou plusieurs navires au GNL à la flotte SECA avec CENAQ

Fiches Scénarii	0 Base	1 CENAQ	2.1 GNL	2.2 NH3	2.3 ELEC/H2	3.1 Scrubber	3.2 Filtre Amont	3.3 MDE	3.4 Gestion Port	4 Normes SECA
Scénario 0	X									
Scénario 1										X
Scénario 2.1	X	X neutre								
Scénario 2.2		X neutre								X
Scénario 3	X		X							
Scénario 4	X	X neutre	X							X
Scénario 5			X							X
Scénario 6		X neutre	X							X

Figure 23 : Fiches utilisées pour les scénarii sur Bastia

A l'instar d' Ajaccio, les scénarii sélectionnés à Bastia pour la **phase de modélisation** sont les **0, 1 et 6** qui correspondent au mêmes critères avec la différence d'un CENAQ neutre en émissions localement.

### **Modélisation : Scénario 0 ; Scénario 1 ; Scénario 6**

## Scenarii AtmoSud

Deux réunions ont été organisées afin d'établir la liste des scenarii à modéliser pour les ports de Nice et Toulon, en présence de représentants de la **Chambre de Commerce et d'Industrie du Var (CCIV)**, de la **Région Sud**, de la **métropole Toulon Provence Méditerranée (TPM)** et de la **métropole Nice Côte d'Azur (NCA)**.

Parmi les scenarii de réduction des émissions envisagés, certains pourront faire l'objet d'une modélisation, qui constituera le livrable T3.3.1. Les autres scenarii seront simplement décrits dans ce rapport.

Une partie importante du projet AER NOSTRUM repose sur l'estimation des efforts qui ont déjà été faits. Avant 2020, la réglementation imposait aux navires d'utiliser un carburant dont la teneur en soufre était réduite à moins de 1.5% pour les navires transportant des passagers, moins de 3.5% pour les navires transportant des marchandises. Pour les navires restant à quai plus de deux heures, la teneur maximale autorisée était de 0.1%. Depuis 2020, tout navire en phase de mouvement doit utiliser un carburant dont la teneur en soufre est inférieure à 0.5%; le pourcentage maximal autorisé pour les navires faisant escale pendant plus de deux heures reste à 0.1%. Etant données les informations enregistrées dans les bases de données d'AtmoSud, deux types de calcul seront comparés, un calcul « **BFO** » correspondant à l'utilisation de fioul lourd (teneur en soufre à 1.5% en phase à quai, 3.5% en phase de mouvement), et un calcul « **MDO** » correspondant à l'utilisation du diesel marin (teneur en soufre à 0.1% en phase à quai, 0.5% en phase de mouvement).

A compter de 2025, la convention MARPOL prévoit l'utilisation généralisée d'un carburant équivalent à 0.1% sur une zone délimitée nommée zone SECA. On s'attend à ce que l'impact de cette mesure soit observable à grande échelle sur les concentrations en particules fines, mais pas en champs proche. Du fait de son affinité avec l'eau, le soufre émis par les navires se transforme en  $H_2SO_4$  particulaire, ce qui contribue à la pollution maritime à l'échelle de la Méditerranée. L'impact du respect d'une zone SECA ne peut être évalué qu'à l'aide d'un modèle **CTM**<sup>15</sup> tenant compte de la réactivité atmosphérique, tel que le modèle **CHIMERE**. Un travail de ce type a été réalisé dans le cadre du projet APICE, mettant en évidence une diminution de la concentration en PM2.5 de 6% au maximum, non localisée au niveau des lignes de navigation ou des zones de stationnement des navires, puisque résultants de la formation d'aérosols secondaires, décalés temporellement par rapport aux émissions primaires des navires.

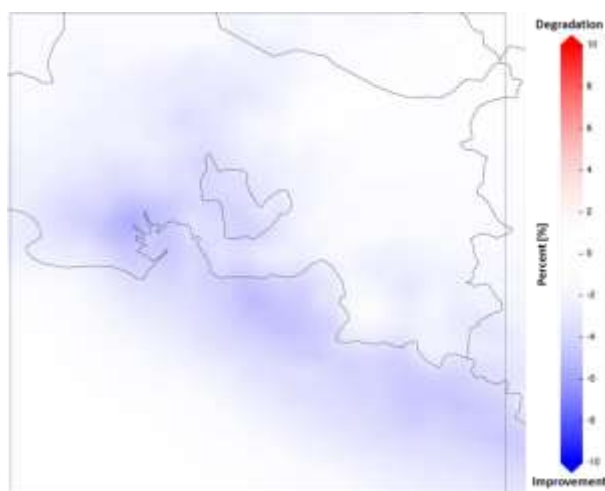


Figure 24 : Différence relative entre le scénario « Future Référence » et le scénario « Très Base Teneur en Soufre » pour les concentrations en PM2.5 au cours de la période hivernale sur le domaine APICE (Zone du Grand Port Maritime de Marseille).

L'étude **ECAMED** (31), coordonnée par l'**INERIS**, a également étudié la mise en place d'une zone de faibles émissions à l'échelle de la méditerranée. Elle montre une réduction des concentrations en particules fines (PM2.5) pouvant aller jusqu'à  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  dans les territoires méditerranéens.



## Toulon

L'électrification des quais est une solution de réduction des émissions en voie de réalisation dans le port de Toulon. Les travaux visant à équiper les trois principaux quais (Fournel, Minerve et quai de la Corse) sont en cours, pour un branchement des navires envisagé début 2023. Pour cela, la compagnie Corsica Ferries a reçu des subventions qui permettront d'équiper quatre de ses huit navires. Le délai de connexion d'un navire étant de l'ordre d'une heure, le branchement d'un navire ne sera réalisé que pour les escales de durée supérieure à 2h30.

Ce scénario fera l'objet d'une modélisation avec le logiciel PMSS en comparaison au scénario de référence établi dans le cadre du livrable T2.3.

Concernant la législation, un scénario portant sur la réduction de la teneur en soufre des carburants sera à l'étude, d'une part pour calculer l'impact avant 2019 (dont la teneur en soufre était de 1.5% en phase à quai et 3.5% en phase de mouvement) et estimer l'impact des efforts qui ont déjà été faits. Un deuxième scénario concernera la future zone SECA méditerranéenne, dont les teneurs en soufre seront limitées à 0.1%.

Il existe un projet de navette à hydrogène entre Toulon et la Seyne-Brégaillon. Le point de ravitaillement serait commun avec les bus de la métropole. AtmoSud ne dispose pas de toutes les informations nécessaires pour évaluer l'impact de cette mesure actuellement. Les échanges avec la métropole toulonnaise pour la récupération des données sont toujours en cours et pourraient permettre l'évaluation de ce scénario.

Il n'a pas été demandé de réaliser un scénario « GNL », le port de Toulon n'étant pas desservi par une compagnie disposant de navires fonctionnant au GNL.

En parallèle des aménagements portuaires proprement dit, les acteurs locaux mènent une réflexion visant à diminuer la pollution dans les ports due au trafic routier. A Toulon, le projet « de Mayol à Pipady » prévoit l'aménagement d'une zone de 44 hectares sur terre et en mer autour de l'ancien site DCNS (maintenant Naval Group) et du futur quai de croisières, dans une approche respectueuse des enjeux de la transition écologique.

La liste de scénarii pour lesquels un **calcul des émissions** sera réalisé pour Toulon est la suivante :

**Scénario 0** : Situation actuelle (2021)

**Scénario 1.1** : Flotte actuelle avec législation avant 2019 (BFO / MDO)

**Scénario 1.2** : Flotte actuelle avec législation SECA (2025)

**Scénario 2** : 100% des navires avec escales > 2h30 sont connectés au CENAQ sans émission (production électrique neutre) et flotte actuelle

**Scénario 3** : Remplacement d'une/des navette(s) entre Toulon et la Seyne-Brégaillon par une/des navette(s) hydrogène

**Scénario 4** : Aménagement portuaire sur 44Ha d'une zone piétonne

Scenarii \ Fiches	0 Base	1 CENAQ	2.1 GNL	2.2 NH3	2.3 ELEC/H2	3.1 Scrubber	3.2 Filtre Armont	3.3 MDE	3.4 Gestion Port	4 Normes SECA
Scenario 0	X									
Scenario 1.1	X 2019									
Scenario 1.2										X
Scenario 2	X	X								
Scenario 3	X				X					
Scenario 3	X								X	

Figure 26 : Fiches utilisées pour les scénarii sur Toulon

Les scénarii sélectionnés à Toulon pour la **phase de modélisation** sont les **0, 1.1, 1.2 et 2**.

**Modélisation : Scénario 0 ; Scénario 1.1/1.2 ; Scénario 2**



## Nice

A Nice, le branchement des ferries n'est pas envisagé dans la mesure où 99% des escales ont une durée inférieure à 2h30, et 70% des escales une durée inférieure à 1h. Toutefois, les acteurs locaux réfléchissent à étendre cette solution à d'autres types de navires. Ceci est déjà le cas pour certains yachts qui, depuis 2018, peuvent se brancher sur le quai de la Douane, grâce à une alimentation de 1000A. L'objectif serait de connecter électriquement le maximum de yachts et de navires transportant des marchandises.

Le scénario d'électrification des quais fera également l'objet d'une modélisation pour le port de Nice.

Côté législation, le scénario sera le même que pour Toulon, avant 2019 et future zone SECA.

Il existait un projet de navette maritime entre Nice et Monaco, qui devait permettre de diminuer le trafic routier grâce à la mise en place d'une ligne maritime propre. Cette navette, qui devait pouvoir transporter 1200 personnes par jour au travers de 34 rotations journalières, aurait permis de diminuer le nombre de voitures effectuant un trajet de 22km entre Monaco et Nice, sur un total de 251 jours ouvrés par an. Ce projet, qui avait été proposé dans le cadre du PPA des Alpes-Maritimes (version 2021), a été abandonné.

Il n'a pas été demandé de réaliser un scénario « GNL », le port de Nice n'étant pas desservi par une compagnie disposant de navires fonctionnant au GNL dans les années à venir.

La liste de scénarii pour lesquels un **calcul des émissions** sera réalisé pour Nice est la suivante :

**Scénario 0 : Situation actuelle (2021)**

**Scénario 1.1 : Flotte actuelle avec législation avant 2019 (BFO / MDO)**

**Scénario 1.2 : Flotte actuelle avec législation SECA (2025)**

**Scénario 2 : 100% des yachts connectés au CENAOQ sans émission et flotte actuelle**

Scenarii	Fiches										
	0 Base	1 CENAOQ	2.1 GNL	2.2 NH3	2.3 ELEC/H2	3.1 Scrubber	3.2 Filtre Amont	3.3 MDE	3.4 Gestion Port	4 Normes SECA	
Scenariio 0	X										
Scenariio 1.1	X 2019										
Scenariio 1.2										X	
Scenariio 2	X	X									

Figure 27 : Fiches utilisées pour les scénarii sur Nice

Les scénarii sélectionnés pour la **phase de modélisation** sont les **0, 1.1, 1.2 et 2**.

**Modélisation : Scénario 0 ; Scénario 1.1/1.2 ; Scénario 2**

## Scenarii ARPAL / UNIGE

Après l'année 2020, marquée par la pandémie et la diminution du commerce international qui en a résulté, la production et la consommation industrielles ont repris en 2021. Le trafic total du port de Gênes est revenu à des valeurs de plus de 60 millions de tonnes, augmentant de 10% par rapport à 2020. La différence par rapport à la dernière année pré-pandémique - 2019 - est de -5,3 %, liée au secteur de l'énergie et notamment aux huiles minérales, en baisse depuis un certain temps. En ce qui concerne le trafic de fret, le nombre de conteneurs le plus élevé jamais atteint (2 781 112 EVP) a été traité, bien au-dessus des niveaux de 2020 (+11,3 %) et aussi de 2019 (+4,2 %). Le secteur des passagers a connu une reprise plus lente : environ 2,5 millions de passagers sont passés par le port à bord de ferries ou de navires de croisière. Malgré l'augmentation apparente par rapport à l'année 2020 (+60%), les niveaux pré-Covid restent éloignés (-45% par rapport à l'année 2019).



Figure 28 : Trafic de passagers et de fret - Port de Gênes

Afin d'identifier et de finaliser les mesures d'atténuation prioritaires qui pourraient être adoptées dans le port de Gênes pour réduire l'impact sur la qualité de l'air généré par le secteur maritime, ARPAL a organisé deux réunions avec certains acteurs locaux et leur a fait remplir un questionnaire dans le cadre du projet AERNOSTRUM P.C. Interreg Marittimo.

Une première table ronde institutionnelle a eu lieu le 9 mars 2021 et a vu la participation de la **Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale (ARPAL)** (ADSP-MLOcc.), la **Municipalité de Gênes**, la **Capitainerie de Port**, l'**Université de Gênes (UNIGE)** et la **Région Ligurie**. **Liguria Ricerche** a participé en tant que modérateur de table.

L'objectif de la réunion était de fournir une mise à jour des institutions, sur la base de leurs compétences respectives, sur la situation générale concernant la gestion de la qualité de l'air et les initiatives ciblées mises en place pour réduire les émissions dans la zone portuaire. L'Université de Gênes - **CIELI (Centre italien pour la logistique, les transports et les infrastructures)** est intervenue en décrivant les technologies actuellement disponibles pour améliorer la qualité de l'air dans la sphère maritime.



Une deuxième réunion a été organisée le 8 mars 2022 comme une session spécifique dédiée au projet de la commission technique pour la mise à jour du plan de restauration et de protection de la qualité de l'air (Dgr 536/2021). L'ARPAL a décrit le projet AER NOSTRUM, en s'attardant sur le plan de surveillance développé, basé sur des instruments traditionnels et des systèmes intelligents non certifiés dont les performances doivent être évaluées au préalable par comparaison avec les instruments traditionnels, positionnés à des points de maille plus étroite dans les zones entourant le port de Gênes, identifiées grâce à la collaboration avec la municipalité de Gênes et l'Autorité portuaire de Gênes.

Ont participé à la réunion les organismes impliqués dans le processus de mise à jour du plan pour la qualité de l'air (**PRRTQA**) et de l'évaluation stratégique environnementale de la Région Ligurie : **ARPAL, Région Ligurie, ADSP MLOcc, la Municipalité de Gênes, Capitainerie d'Imperia, Capitainerie de Savone, Province de La Spezia, ASL 3, municipalité de La Spezia, Province de Savone, Liguria Ricerche** et **UNIGE**.

Un questionnaire, élaboré en collaboration avec UNIGE-CIELI et visant à évaluer les mesures d'atténuation des polluants et GES<sup>17</sup>, a été administré aux autorités responsables du port de Gênes, zone étudiée dans le cadre du projet AerNostrum. Le questionnaire a été rempli par la Capitainerie du Port de Gênes, la Région Ligurie, l'autorité du système portuaire de la mer Ligurie occidentale et la municipalité de Gênes. Bien que l'échantillon soit limité, les quatre sujets représentent les principaux décideurs locaux impliqués dans la gestion du système portuaire et des activités logistiques connexes.

Afin de faciliter la compilation, une courte présentation PPT produite par l'Université de Gênes (CIELI) a été fournie avec le questionnaire, illustrant brièvement les points clés liés à chacune des mesures d'atténuation identifiées dans le projet en soulignant les avantages/inconvénients et les implications de la mise en œuvre technique. Ces mesures nécessitent des interventions synergiques à la fois " côté mer " (c'est-à-dire liées aux navires circulant dans la zone d'étude) et " côté terre " (c'est-à-dire mises en œuvre sur les quais du port).

Une partie des stratégies possibles pour réduire l'impact environnemental des activités portuaires comprennent le cold ironing (CENAQ), l'utilisation de carburants alternatifs tels que le VLSFOP/ULSFO (fuel à très/ultra faible teneur en soufre), le gaz naturel liquéfié, l'hydrogène, le biocarburant et l'ammoniac, la mise en place de systèmes de propulsion alternatifs pour les navires (propulsion tout électrique énergie éolienne/solaire), des systèmes de confinement des émissions des navires (épurateurs et dispositifs de réduction catalytique sélective), un système d'efficacité énergétique HVAC (chauffage, ventilation, climatisation) et un système de réduction du frottement à l'interface coque/mer (lubrification par air de la coque).

Les parties prenantes se sont exprimées quant à la contribution de ces mesures à la réduction des SOx, NOx, PM et GES, puis, sur la base des actions entreprises par les entités concernées et des informations en leur possession, ils ont ensuite indiqué l'état actuel des mesures d'atténuation en se référant spécifiquement aux interventions réalisées dans la zone du port de Gênes, et notamment celle du Vieux-Port, sur lequel le projet est centré et qui est principalement affecté par le trafic de passagers, constituant un port d'embarquement et de débarquement très important pour le trafic de croisières et de ferries. Il leur a également été demandé d'indiquer le niveau de priorité de chacune des mesures et d'indiquer trois interventions qu'ils considèrent essentielles et en même temps réalisables pour le port de Gênes à court terme (3-5 ans) et en tenant compte de leur faisabilité économique.

- La capitainerie de port a évalué l'état de l'art des infrastructures de ravitaillement/stockage VLSFO/ULSFO comme étant opérationnel
- Les infrastructures de raccordement électrique des navires à quai sont en phase de construction
- L'état actuel des infrastructures de ravitaillement/stockage de gaz naturel liquéfié sont considérées comme étant en phase de planification
- Les projets concernant l'hydrogène, l'ammoniac et les biocarburants ne sont connus d'aucun des décideurs locaux participant au questionnaire.

## Gênes

D'après les réponses des parties prenantes, les interventions sur lesquelles il convient de se concentrer sont le CENAQ et l'utilisation du GNL. Les deux interventions sélectionnées seront ensuite mises en œuvre dans la composante T.3.3 pour la définition des données d'émission pour la modélisation. La comparaison des résultats de modélisation obtenus à partir des émissions du scénario de référence, c'est-à-dire sans mesures d'atténuation, et recalculés avec les deux scénarios d'atténuation retenus sur la base de la composante T.3.2, permettra d'évaluer les bénéfices sur la qualité de l'air autour de la zone d'étude de manière relative. Dans ce contexte, pour chacune des mesures d'atténuation envisagées, il sera important d'estimer la diminution du taux d'émission des différents polluants d'intérêt dans les différentes phases d'accostage, de manœuvre au port et de navigation.

### → CENAQ

En ce qui concerne le CENAQ, le port de Gênes fait figure d'exemple en Italie et compte parmi les plus avancés en Europe dans le domaine du transport de marchandises et de la réparation navale.

Neuf stations d'amarrage électrifiées utilisées par 14 remorqueurs sont en service depuis 2010 et sont exploitées par Rimorchiatori Riuniti Spa, une entreprise qui participe depuis des décennies à l'aide aux manœuvres des navires entrants et sortants du port. A celles-ci s'ajoute quatorze postes à quai datant de 2018 qui permettent de travailler sur les navires sans avoir à maintenir leurs moteurs en marche. Ces postes d'amarrage sont capables d'accueillir environ 120 navires par an (principalement des transbordeurs rouliers- ro-ro ferries), dont le séjour moyen est de 15 jours. Depuis 2017, une station électrifiée est en service sur le chantier naval Sestri de Fincantieri pour la construction de navires de croisière.

Les longues escales (7-15 jours), l'absence de passagers et d'équipage à bord, la possibilité de couper le système de recirculation de l'eau de refroidissement des générateurs embarqués et la proximité de l'environnement urbain ont permis de commencer le développement du CENAQ à partir des quais de réparation des navires.

Enfin, une application importante du CENAQ concerne deux stations situées au PSA Genova Prà, le principal terminal à conteneurs du port. Les travaux, d'un coût de 10 millions d'euros, ont été financés par le programme **CEF (Connecting Europe Facility)**, l'instrument financier de l'Union européenne visant à améliorer les réseaux européens dans le secteur des transports. Sa mise en service

était prévue pour le printemps 2020, mais en raison de certains problèmes administratifs, les travaux ont été récemment achevés et la mise en service est prévue plus tard cette année.

Grâce à des appels d'offres financés par le **MIT (Ministero Infrastrutture e Trasporti)**, les prochaines étapes concernent les terminaux de croisières et de ferries de Gênes. Cependant, même si la plate-forme portuaire s'étend sur 22 km, la zone concernée par l'étude est située dans une zone extrêmement centrale de la ville, s'immisçant au cœur du centre historique. Cet aspect est d'une part un atout, car il est facilement accessible aux passagers, mais d'autre part, il représente le plus grand défi pour le développement de la mobilité maritime durable en termes de pollution atmosphérique.

La construction de six quais électrifiés est prévue pour 2025 (scénario moyen-terme), pour les navires de croisière et les ferries MSC, Costa et GNV. Il y aura deux postes d'amarrage pour les croisières, un à Ponte dei Mille et un à Ponte Doria, et quatre pour les ferries, dans la zone du terminal. Le temps d'accostage prévu est d'environ 10 heures pour les navires de croisière et de 4 heures pour les ferries.

Il est prévu d'augmenter le nombre de quais électrifiés dans le terminal à conteneurs PSA de Prà de 2 à 4 afin de pouvoir accueillir 4 porte-conteneurs MSC-ONE avec des arrêts entre 24 et 36 heures. Enfin, une modernisation des quais de réparation des navires projette de faire passer le nombre de navires amarrés de 120 à 240, grâce à des connexions multiples.

Pour le scénario à long-terme (2030), les prévisions concernant la réalisation de nouvelles infrastructures de raccordement électrique à quai sont nettement moins précises: deux nouveaux quais électrifiés sont prévus aux terminaux de Bettolo et de Sech.

Il est souligné que la connexion électrique des navires au quai est toujours considérée comme neutre en émissions locales.

## ➔ GNL

En ce qui concerne la deuxième mesure d'atténuation choisie par les parties prenantes et les autorités, c'est-à-dire l'utilisation du GNL comme carburant de substitution, il n'existe actuellement aucun quai équipé où les navires peuvent se ravitailler. Toutefois, sur tous les quais du port, le ravitaillement en GNL peut être effectué au moyen de bateau soutes (barges / bettolina); en outre, le port de Gênes permet l'amarrage de navires dont le ravitaillement a été effectué dans d'autres ports.

Il est souligné que le domaine des simulations dispersives à haute résolution, mises en œuvre par l'Université de Gênes à l'aide du modèle CALPUFF, ne comprend que la zone portuaire dédiée aux passagers (bateaux de croisière et ferries) puisque, comme mentionné ci-dessus, elle est située dans le centre névralgique du centre-ville ; par conséquent, seuls les quais dédiés à ces types de navires seront pris en compte dans les scénarios de référence et d'atténuation à moyen et long-terme.

La liste de scenarii pour lesquels un **calcul des émissions** sera réalisé pour Gênes est la suivante :

**Scénario 0** : Situation actuelle (2021)

**Scénario 1** : Flotte actuelle avec législation SECA (2025)

**Scénario 2.0** : 100% navires amarrés à Ponte dei Mille, Ponte Doria et Terminal Traghetti sont connectés au CENAQ sans émission (production électrique neutre) et flotte actuelle

**Scénario 2.1** : 100% des navires avec escales > 2h30 sont connectés au CENAQ sans émission (production électrique neutre) et flotte actuelle

**Scénario 2.2** : 100% des navires avec escales > 2h30 sont connectés au CENAQ sans émission (production électrique neutre) et législation SECA

**Scénario 3.1** : 100% des navires avec escales > 2h30 sont connectés au CENAQ avec émissions en partie carbonées et flotte actuelle

**Scénario 3.2** : 100% des navires avec escales > 2h30 sont connectés au CENAQ avec émissions en partie carbonées et législation SECA

**Scénario 4** : Ajout d'un ou plusieurs navires au GNL à la flotte actuelle sans CENAQ

**Scénario 5** : Ajout d'un ou plusieurs navires au GNL à la flotte actuelle avec CENAQ

**Scénario 6** : Ajout d'un ou plusieurs navires au GNL à la flotte SECA sans CENAQ

**Scénario 7** : Ajout d'un ou plusieurs navires au GNL à la flotte SECA avec CENAQ

Schede \ Scenari	0 Base	1 Cold Ironing	2.1 GNL	2.2 NH3	2.3 ELEC/H2	3.1 Scrubber	3.2 Filtre Amonf	3.3 MDE	3.4 Gestlon Port	4 Normes SECA
Scenario 0	X									
Scenario 1										X
Scenario 2.0	X	X(reale)								
Scenario 2.1	X	X								
Scenario 2.2		X								X
Scenario 3.1	X	X								
Scenario 3.2		X								X
Scenario 4	X		X							
Scenario 5	X	X	X							
Scenario 6			X							X
Scenario 7		X	X							X

Figure 29 : Fiches utilisées pour les scenarii sur Gênes

Les scenarii sélectionnés à Gênes pour la **phase de modélisation** sont les **0, 1, 2.0 et 6**.

**Modélisation : Scénario 0 ; Scénario 1 ; Scénario 2.0 ; Scénario 6**

## Scenarii ARPAT

L'Autorité du système portuaire de la mer Tyrrhénienne du Nord produit chaque année un document qui contient le calcul de l'empreinte carbone navale dans le port de Livourne, en analysant les données relatives aux mouvements individuels opérés par les navires pendant les phases dans le port. Les données utilisées pour le calcul sont fournies par la plate-forme **MONI.C.A.**, créée par l'**AdSP MTS** et qui fournit un rapport sur les mouvements dans le port (arrivée, départ, mouvement interne), par le **PMIS**, propriété du Commandement Général du Corps de la Capitainerie du Port, et de la base de données **IHS Markit**, qui fournit les paramètres relatifs aux moteurs de chaque bateau arrivé à Livourne. Grâce à ces outils, il est possible de détecter toutes les informations relatives aux mouvements dans le port, y compris les heures de début et de fin de tous les mouvements navals et de tous les quais de destination / départ, auxquels il est possible de connecter toutes les valeurs relatives aux moteurs, obtenant ainsi une indication précise de quel navire a effectué un mouvement donné dans le port.

Le rapport est divisé en deux parties : la première évalue tous les mouvements dans le port, en obtenant les valeurs relatives au nombre d'arrivées/départs mensuels et au quai d'arrivée/départ également divisé par toutes les principales catégories de trafic (croisière, ro-ro, ro-ro / pax, conteneurs, voitures neuves). Grâce à cette analyse, nous pouvons obtenir des indications précises sur la tendance mensuelle et sur le fonctionnement de chaque quai. La deuxième partie du rapport utilise les données disponibles pour calculer les émissions de tous les principaux polluants, de manière analytique, et les ventiler par approche, trafic et tendance mensuelle.

En 2021, 8 catégories de navires opéraient principalement dans le port de Livourne : **Ro-Ro**, **Ro-Ro/Pax**, **Croisière**, **Porte-Conteneur**, **Vehicle**, **Cargo**, **Tanker** et **Bulk Carrier**, et un total de 5343 arrivées/départs ont été enregistrés. La figure suivante montre le nombre d'arrivées/départs enregistrés par type de navire.

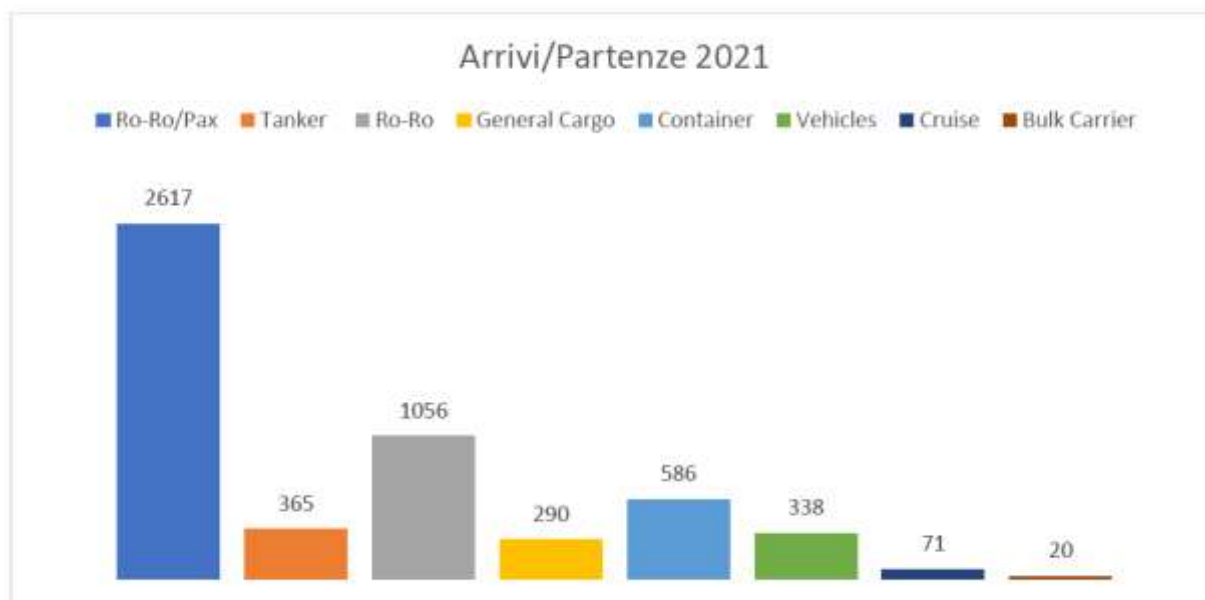


Figure 30 : Trafic portuaire par type de navire à Livourne en 2021

Le graphique suivant montre les arrivées/départs mensuels divisés par catégorie de navire :

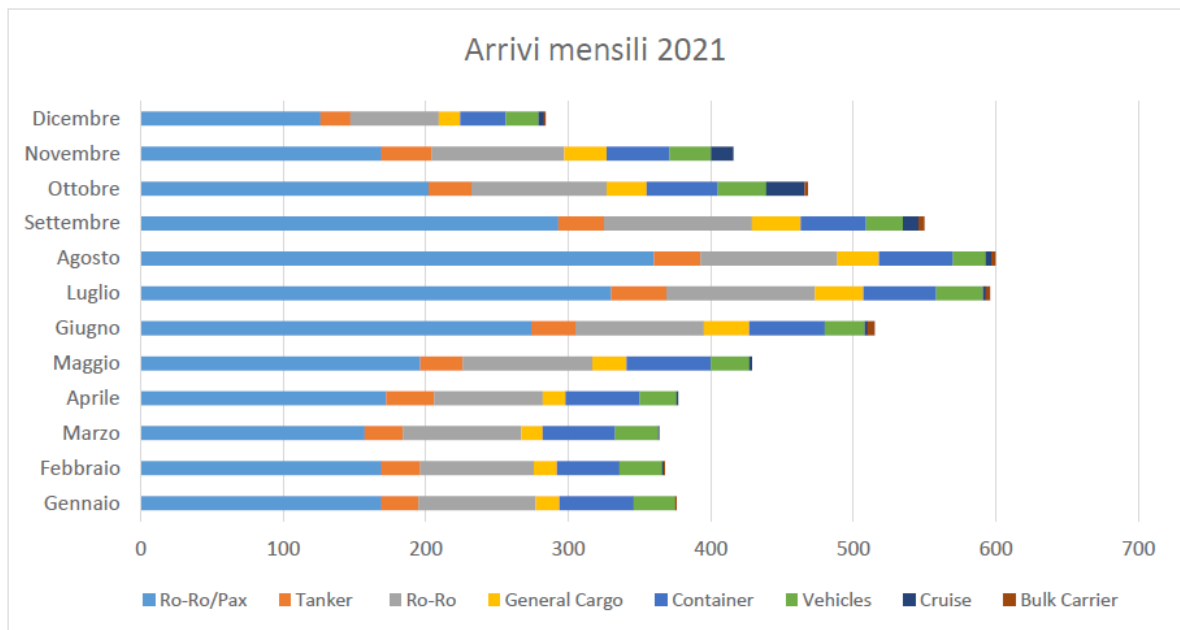


Figure 31 : Nombre d'escales par catégorie de navire sur l'année 2021

Après cette phase d'analyse des données relatives aux navires arrivant dans le port, les valeurs d'émission des principaux polluants ont été calculées analytiquement, en analysant les différents types de navires. Des analyses ponctuelles ont été réalisées en fonction à la fois du polluant et de la phase d'exploitation et, in fine, du type de navire. Ceux qui ont un impact environnemental plus important sont les Ro-Ro / Pax en raison des longs temps d'inactivité et de la puissance élevée que les générateurs à bord du navire doivent fournir pour les opérations normales.

En deuxième et troisième place pour les émissions, il y a respectivement les navires des catégories Ro-Ro et Container Cargo, dont les valeurs élevées sont dues au grand nombre d'arrivées par an appartenant à cette catégorie.

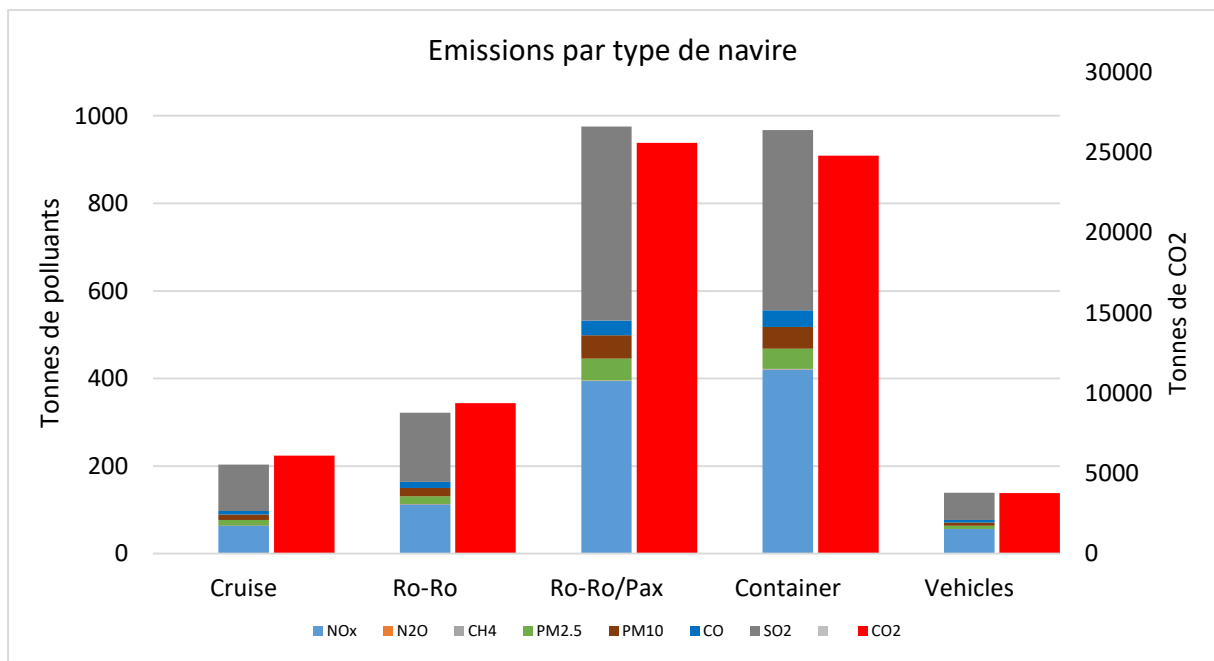


Figure 32 : Emissions des polluants principaux et de CO2 par type de navire

Le bilan carbone naval apparaît comme un outil préliminaire, construit avec des outils innovants, grâce auquel il a été possible d'évaluer d'éventuels scénarii de réduction des émissions polluantes.

Le calcul des scénarios relatifs au raccordement électrique des navires au quai est considéré comme neutre. Cette hypothèse est basée sur le fait que l'électricité potentiellement utilisée au port peut être produite à Rosignano (Engie Italia) ou à Collesalveti (ENIpower), des lieux qui n'ont pas d'impact direct significatif sur la ville.

## **Livourne**

La liste de scénarii pour lesquels un **calcul des émissions** sera réalisé pour Livourne est la suivante :

**Scénario 1.1 : Situation actuelle (2021)**

**Scénario 2.1 : 100% des navires de croisière et Ro-Ro/Pax amarrés aux quais sont connectés au CENAQ sans émission (production électrique neutre) et flotte actuelle**

**Scénario 2.2 : 100% des navires de croisière amarrés aux quais sont connectés au CENAQ sans émission (production électrique neutre) et flotte actuelle**

**Scénario 2.3 : 100% des navires Ro-Ro/Pax amarrés aux quais sont connectés au CENAQ sans émission (production électrique neutre) et flotte actuelle**

**Scénario 3.1 : Ajout d'un ou plusieurs navires au GNL à la flotte actuelle**

**Scénario 4.1 : Flotte actuelle avec législation SECA (2025)**

**Scénario 5.1 : 100% des navires de croisière et Ro-Ro/Pax amarrés aux quais sont connectés au CENAQ et ajout d'un ou plusieurs navires au GNL à la flotte actuelle**

**Scénario 5.2 : 100% des navires de croisière et Ro-Ro/Pax amarrés aux quais sont connectés au CENAQ et flotte SECA (2025)**

**Scénario 5.3 : Ajout d'un ou plusieurs navires au GNL à la flotte SECA (2025)**

**Scénario 5.4 : 100% des navires de croisière et Ro-Ro/Pax amarrés aux quais sont connectés au CENAQ et ajout d'un ou plusieurs navires au GNL à la flotte SECA (2025)**



Scenarii	Fiches									
	0 Base	1 CENAG	2.1 GNL	2.2 NH3	2.3 ELEC/H2	3.1 Scrubber	3.2 Filtre Amont	3.3 MDE	3.4 Gestion Port	4 Normes SECA
Scenario 1.1	X									
Scenario 2.1	X	X								
Scenario 2.2	X	X								
Scenario 2.3	X	X								
Scenario 3.1	X		X							
Scenario 4.1										X
Scenario 5.1	X	X	X							
Scenario 5.2		X								X
Scenario 5.3			X							X
Scenario 5.4		X	X							X

Figure 33 : Fiches utilisées pour les scenarii sur Livourne

Les scenarii sélectionnés à Livourne pour la **phase de modélisation** sont les

**1.1 ; 2.1 ; 2.2 ; 2.3 ; 3.1 ; 5.1 ; 5.2**

**Modélisation : Scénario 1.1 ; Scénario 2.1 ; Scénario 2.2 ; Scénario 2.3 ;**

**Scénario 3.1 ; Scénario 5.1 ; Scénario 5.2**

## Scenarii ARPAS / UNICA

Dans le cadre du projet Aer Nostrum, afin de définir les scénarios envisagés pour les ports de Cagliari et d'Olbia, l'UNICA et l'ARPAS ont envoyé des questionnaires, sur le modèle adopté par l'ARPAL et l'UNIGE, à 20 acteurs locaux, le 31 mars 2022, dont **le département des transports et le département de la protection de l'environnement de la région autonome de Sardaigne, la municipalité de Cagliari, la compagnie maritime Corsica Ferries, les mytiliculteurs d'Olbia, la capitainerie de Cagliari et d'Olbia et l'ADSP (Autorité Portuaire des Mers de Sardaigne)**. Deux d'entre eux ont été retournés.

Deux tables techniques ont ensuite été mises en place, auxquelles ont participé les figures professionnelles les plus impliquées de l'ADSP pour ce qui concerne les ports de Cagliari et d'Olbia. En outre, des scénarii ont été discutés avec l'ADSP lors du séminaire sur la qualité de l'air dans les ports qui s'est tenu à Cagliari le 22 juin 2022.

L'Organisation européenne des ports maritimes (ESPO) a produit des lignes directrices considérant que sans une analyse coûts-avantages appropriée, le coût de l'installation des OPS serait trop élevé.

→ Les critères pour l'installation de l'OPS (Onshore Power Supply, cold ironing / CENAQ) sont :

- Un temps de séjour du navire au port et régularité de l'amarrage suffisant
- L'emplacement du poste d'amarrage et du port
- La taille et l'aménagement du poste d'amarrage en fonction de la connexion du navire
- L'accès au financement public
- La capacité disponible du réseau et l'accès aux énergies renouvelables, y compris l'espace de quai pour intégrer l'installation OPS.

### **Plan national pour les investissements complémentaires de la Sardaigne :**

Financement total : 70.830.000,00€

Les ports concernés par l'électrification des quais sont les suivants :

**Cagliari (Porto Storico & Porto Canale) – Olbia  
Porto Torres – Golfo Aranci – Santa Teresa Gallura – Portovesme**

Un appel d'offres pour l'avant-projet devrait être lancé d'ici juin 2022, pour une réalisation en 2026.

Dans le port de Cagliari, les investissements prévus sont les suivants :

**Cagliari** – Porto Storico 20.900.000,00 € - Puissance nécessaire 22 MW

**Cagliari** – Porto Canale 12.220.000,00 € - Puissance nécessaire 13 MW

A Olbia les investissements prévus sont les suivants:

**Porto di Olbia** – 21.560.000,00 € - Puissance nécessaire 22 MW

Dans le port de Cagliari, il est prévu d'électrifier les quais du mol Rinascita (2 stations) et du port canal pour le roulier (6 stations). Alors que dans le port d'Olbia, 3 quais pour les ferries et 1 quai pour les bateaux de croisière (12 MW), des scénarios seront également développés pour mettre en œuvre le nombre de stations électrifiées pour les bateaux de croisière. L'électricité sera fournie par TERNA, qui devra moderniser ses infrastructures.

La construction d'un dépôt de GNL dans le port de Cagliari est actuellement suspendue en raison de divers recours. Pour l'instant, il n'existe donc aucun scénario envisageant l'utilisation du GNL dans les deux ports.

Les principales compagnies maritimes présentes sont Grimaldi et Moby. Grimaldi adopte l'utilisation de batteries lorsqu'il est au port (32) tandis que Moby prévoit de construire deux navires « écologiques » (33).

## Cagliari et Olbia

La liste de scénarii pour lesquels un **calcul des émissions** sera réalisé pour Cagliari et Olbia est la suivante :

**Scénario 0** : Situation actuelle (2021)

**Scénario 1** : Flotte actuelle avec législation SECA (2025)

Fiches Scenarii	0 Base	1 CENAG	2.1 GNL	2.2 NH3	2.3 ELEC/H2	3.1 Scrubber	3.2 Filtre Amont	3.3 MDE	3.4 Gestion Port	4 Normes SECA
Scenario 0	X									
Scenario 1										X

Figure 34 : Fiches utilisées pour les scénarii sur Cagliari et Olbia

Aucun de ces scénarii ne fera l'objet d'une modélisation.

## Conclusion

Les solutions recensées en première partie de ce rapport forment une liste non exhaustive pouvant être complétée si besoin en fonction des évolutions technologiques et sociétales. Ce travail bibliographique n'engage que la responsabilité de son auteur. Ces fiches de solutions ont servi de base de travail pour échanger avec les différents acteurs du port, permettant alors d'établir différents scénarii de réduction des émissions dans les ports concernés par AER NOSTRUM.

Tous les scénarii seront évalués d'un point de vue quantitatif (pourcentage de réduction des émissions de polluants via le **calcul d'inventaire des émissions**) et pour certains d'un point de vue qualitatif (concentration des polluants issus des navires dans la ville à certains points précis via la **modélisation**).

Il est important de noter que ce travail de calcul permettra soit de conforter la pertinence de certains aménagements déjà en place ou en cours de réalisation (SECA, CENAQ, Filtre à Particules...), soit de s'assurer de l'utilité d'une solution particulière pour laquelle les travaux et financements sont au stade de la réflexion (Navires H2, CENAQ avec émissions locales, etc).

Ces résultats seront l'objet de l'activité T3.3 « Scénarii de réduction des émissions » et notamment du rapport « Scénarii locaux de réduction des émissions de polluants et GES<sup>18</sup> ».

## Bibliographie

1. **Région Sud - Provence-Alpes-Côte d'Azur.** « ESCALES ZÉRO FUMÉE », UNE SOLUTION POUR NOTRE SANTÉ ! *maregionsud.fr*. [En ligne] Janvier 2021. <https://www.maregionsud.fr/actualites/detail/escales-zero-fumee-une-solution-pour-notre-sante>.
2. **Corsica Linea.** Dossier de presse - Arrêt technique du Paglia Orba : Top Départ de l'électrification à quai pour Corsica Linea. *armateursdefrance.org*. [En ligne] Février 2019. [https://www.armateursdefrance.org/sites/default/files/presse/dossier\\_presse\\_at\\_orba\\_01022019.pdf](https://www.armateursdefrance.org/sites/default/files/presse/dossier_presse_at_orba_01022019.pdf).
3. **ABB.** Une solution clé en main d'ABB pour réduire les émissions polluantes dans les ports. *library.e.abb.com*. [En ligne] [https://library.e.abb.com/public/18f21146684cae21c125784e00556436/56-60%204m072a\\_FRA\\_72dpi.pdf](https://library.e.abb.com/public/18f21146684cae21c125784e00556436/56-60%204m072a_FRA_72dpi.pdf).
4. **Baldy, Rémi.** Contre la pollution, le port se la joue branché. *marsactu.fr*. [En ligne] 09 Juillet 2019. <https://marsactu.fr/contre-la-pollution-le-port-se-la-joue-branche/>.
5. **Pôle Mer Méditerranée.** Connexion Electrique des Navires A Quai. *www.polemermediterranee.com*. [En ligne] 2014. <https://www.polemermediterranee.com/Activites-Projets/Naval-et-nautisme/CENAQ>.
6. **Penverne, Mickael.** Marseille: La Méridionale se branche à quai pour moins polluer. *20minutes.fr*. [En ligne] 02 Juin 2015. <https://www.20minutes.fr/marseille/1621811-20150602-marseille-meridionale-branche-quai-moins-polluer>.
7. **La Méridionale.** CENAQ : Des ferrys pour la Corse branchés à quai. *lameridionale.fr*. [En ligne] <https://www.lameridionale.fr/fr/la-meridionale/engagements/cenaq-des-ferrys-pour-la-corse-branches-a-quai>.
8. **Snam, International Gas Union and The Boston Consulting Group.** *Global Gas Report, 2018*. 2018. p. 4.
9. **ClearSeas.** GNL ET TRANSPORT MARITIME. *clearseas.org*. [En ligne] <https://clearseas.org/fr/gnl/>.
10. **International Panel on Climate Change.** *TS.2.5 Net Global Radiative Forcing, Global Warming Potentials and Patterns of Forcing*.
11. **Brynolf, Selma, Andersson, Karin E et Fridell, Erik.** *A comparative life cycle assessment of marine fuels: liquefied natural gas and three other fossil fuels*. 2011. p. 17.
12. **International Maritime Organization.** *FSA – Liquefied Natural Gas (LNG) Carriers - Details of the Formal Safety Assessment (Annex)*. 2007.
13. **Philibert, Cédric.** Des cargos écolos grâce à l'ammoniac vert. *revolution-energetique.com*. [En ligne] Mars 2021. <https://www.revolution-energetique.com/des-cargos-ecolos-grace-a-lammoniac-vert/>.
14. **DE VRIES, Niels.** *Thesis : Safe and effective application of ammonia as a marine fuel*. TU Delft Mechanical, Maritime and Materials Engineering. 2019. Thèse.
15. **Hurtigruten.** Hurtigruten se lance dans la construction de navires hybrides. *hurtigruten.fr*. [En ligne] <https://www.hurtigruten.fr/hurtigruten-group/actualites-hurtigruten/hurtigruten-se-lance-dans-la-construction-de-navires-hybrides/>.

16. **The Explorer.** Norwegian solutions are paving the way for a green cruise industry. *theexplorer.no*. [En ligne] [https://www.theexplorer.no/stories/ocean/norwegian-solutions-are-paving-the-way-for-a-green-cruise-industry/?utm\\_source=linkedin&utm\\_medium=organic&utm\\_campaign=&utm\\_term=&utm\\_content=](https://www.theexplorer.no/stories/ocean/norwegian-solutions-are-paving-the-way-for-a-green-cruise-industry/?utm_source=linkedin&utm_medium=organic&utm_campaign=&utm_term=&utm_content=).
17. **Deboysier, Bernard.** Norvège : mise en service du plus grand navire électrique au monde. *revolution-energetique.com*. [En ligne] Mars 2021. <https://www.revolution-energetique.com/norvege-mise-en-service-du-plus-grand-navire-electrique-au-monde/>.
18. **SCHWOERER, Philippe.** Le premier cargo 100% électrique effectue son voyage inaugural. *revolution-energetique.com*. [En ligne] Novembre 2021. <https://www.revolution-energetique.com/le-premier-cargo-100-electrique-effectue-son-voyage-inaugural/>.
19. **Ministère de la Mer.** SCRUBBERS : ENTRÉE EN APPLICATION DE L'INTERDICTION DE REJETS DÈS LE 1ER JANVIER 2022. *mer.gouv.fr*. [En ligne] 17 Décembre 2021. <https://mer.gouv.fr/scrubbers-entree-en-application-de-linterdiction-de-rejets-des-le-1er-janvier-2022>.
20. **FranceInfo.** Corsica Linea a-t-elle obtenu le droit de polluer la mer ? La compagnie s'en défend. *france3-regions.francetvinfo.fr*. [En ligne] 08 Février 2022. <https://france3-regions.francetvinfo.fr/corse/haute-corse/grand-bastia/corsica-linea-a-t-elle-obtenu-le-droit-de-polluer-la-mer-la-compagnie-s-en-defend-2453262.html>.
21. **Solvair Solutions.** SOLVAir® Marine - Traitement sec pour la fumée des navires et de l'industrie de la marine. *solvairsolutions.com*. [En ligne] <https://www.solvairsolutions.com/fr/industries-desservies/solvair-marine>.
22. **La Méridionale.** LE FILTRE À PARTICULES DU PIANA. *lameridionale.fr*. [En ligne] <https://www.lameridionale.fr/fr/la-meridionale/engagements/le-filtre-a-particules-du-piana>.
23. **Solvair Solutions.** Étude de cas : La Méridionale, une compagnie maritime en France. *solvairsolutions.com*. [En ligne] <https://www.solvairsolutions.com/fr/etude-de-cas-la-meridionale-compagnie-maritime-france>.
24. **COLOMBIER, NATHALIE BUREAU DU.** IMO 2020 : La Méridionale teste le filtre à particules. *journalmarinemarchande.eu*. [En ligne] Mars 2019. <https://www.journalmarinemarchande.eu/actualite/shipping/la-meridionale-teste-le-filtre-a-particules>.
25. **Pôle Mer Méditerranée.** Démonstrateur de filtre à particules pour les navires de commerce. *polemermediterranee.com*. [En ligne] <https://www.polemermediterranee.com/Activites-Projets/Naval-et-nautisme/TEST-FAP>.
26. **ECOSOFTEC.** Réduction des particules polluantes des fumées des navires - APR CORTEA 2019 - Projet OCEAMM. *librairie.ademe.fr*. [En ligne] 2021. <https://librairie.ademe.fr/mobilite-et-transport/5235-reduction-des-particules-polluantes-des-fumees-des-navires.html>.
27. **Ministère de la Mer.** LUTTE CONTRE LA POLLUTION DE L'AIR PAR LES NAVIRES : LA RÉDUCTION DE LA TENEUR EN SOUFRE DES CARBURANTS MARINS. *mer.gouv.fr*. [En ligne] Décembre 2021. <https://www.mer.gouv.fr/lutte-contre-la-pollution-de-lair-par-les-navires-reduction-de-la-teneur-en-soufre>.
28. **Ministère de la Transition Ecologique.** Projet de zone de réglementation des émissions de polluants (ECA) en mer Méditerranée. *ecologie.gouv.fr*. [En ligne] Décembre 2020.

<https://www.ecologie.gouv.fr/projet-zone-reglementation-des-emissions-polluants-eca-en-mer-mediterranee>.

29. **Bornemann, Brigitte.** MÉDITERRANÉE : ACCORD TROUVÉ POUR LA ZONE DE CONTRÔLE DES ÉMISSIONS D'OXYDES DE SOUFFRE (SECA). *energiesdelamer.eu*. [En ligne] Décembre 2021. <https://www.energiesdelamer.eu/2021/12/18/accord-trouve-pour-la-zone-de-contrôle-des-emissions-doxydes-de-soufre-seca-pour-la-mediterranee/>.

30. **EDF.** Une production électrique en mutation. *corse.edf.fr*. [En ligne] <https://corse.edf.fr/edf-en-corse/nos-installations-en-corse/nos-moyens-de-production-electrique-en-corse>.

31. **INERIS.** A Technical Feasibility Study for the Implementation of an Emission Control Area (ECA) in the Mediterranean Sea . [En ligne] Janvier 2019. [https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/R\\_DRC-19-168862-00408A\\_ECAMED\\_final\\_Report\\_0.pdf](https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/R_DRC-19-168862-00408A_ECAMED_final_Report_0.pdf).

32. **Nieddu, Gian Basilio.** La svolta green di Grimaldi: navi Zero Emission in porto. *www.vaielettrico.it/*. [En ligne] <https://www.vaielettrico.it/la-svolta-green-di-grimaldi-navi-zero-emission-in-porto/>.

33. **Lanuovosardegna.** Olbia, nuovi traghetti: il rilancio con l'alleanza Moby-Msc. [En ligne] Avril 2022. <https://www.lanuovosardegna.it/olbia/cronaca/2022/04/11/news/olbia-nuovi-traghetti-il-rilancio-con-l-alleanza-moby-msc-1.41366587>.



## Table des abréviations

---

- <sup>1</sup> High-Sulphur Fuel Oil
- <sup>2</sup> Low-Sulphur Fuel Oil
- <sup>3</sup> Gaz naturel liquéfié
- <sup>4</sup> Filtre à Particules
- <sup>5</sup> Scrubber en Boucle Ouverte ou Boucle Fermée
- <sup>6</sup> Maitrise de la Demande en Energie
- <sup>7</sup> Moteurs de propulsion (primaires et secondaires) assurant le déplacement du navire
- <sup>8</sup> Groupe Electrogène (ou motorisation auxiliaire dans certains cas spécifiques) assurant le réseau de bord à quai
- <sup>9</sup> Pôle de Coordination des Inventaires Territoriaux - <https://www.lcsqa.org/fr/rapport/guide-methodologique-pour-lelaboration-des-inventaires-territoriaux-des-emissions>
- <sup>10</sup> Connexion Electrique des Navires Aux Quais
- <sup>11</sup> Motorisation Principale de Propulsion du navire
- <sup>12</sup> Groupes Electrogènes ou Motorisation Auxiliaire du navire
- <sup>13</sup> Maitrise de la Demande en Energie
- <sup>14</sup> Sulfur Emissions Control Area
- <sup>15</sup> Chemical Transport Model
- <sup>16</sup> Nitrogen Emissions Control Area
- <sup>17</sup> Gaz à Effet de Serre (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, Vapeur d'eau, Ozone O<sub>3</sub>, etc.)