

Activité T.3.3

Scenarii d'atténuation

Produit T.3.3.1

Rapport sur les résultats des scenarii visant à réduire les émissions de polluants atmosphériques

Partenaire Responsable :

Qualitair Corse

Zone de Lergie, RT50

20250 Corte, France

Auteur :

Amaury ARLOTTO

Date :

Avril 2023

La cooperazione al cuore del Mediterraneo

La coopération au cœur de la Méditerranée

Table des matières

Introduction	6
1 Méthodologie Qualitair Corse	7
1.1 Présentation des scénarios de base des ports d’Ajaccio et Bastia	7
1.1.1 Scenarii étudiés pour le port d’Ajaccio	9
1.1.2 Scenarii étudiés pour le port de Bastia	12
1.2 Emissions des scenarii	13
1.2.1 Facteurs d’émissions	13
1.2.2 Situation actuelle (2021)	14
1.2.3 Connexion Electrique des Navires à Quai (CENAO)	16
1.2.4 Zone SECA	19
1.2.5 Navires au GNL	21
1.2.6 Scenarii combinés	23
2 Résultats des scenarii - Modélisation	26
2.1 Cartes de modélisation de la pollution pour les différents scenarii	29
2.1.1 Port d’Ajaccio	29
2.1.2 Port de Bastia	37
2.2 Box-plots des concentrations en zone terrestre	45
2.3 Bilan statistique	49
Conclusion	50
Annexe 1 – Tableau des émissions des scenarii AER NOSTRUM	51

Table des figures

Figure 1 : Répartition des Emissions en fonction du type de navire sur Ajaccio (2019).....	7
Figure 2 : Répartition des Emissions en fonction de la phase de l'escale sur Ajaccio (2019)	8
Figure 3 : Mix Energétique en Corse	9
Figure 4 : Installations de production électrique d'EDF en Corse – EDF.....	9
Figure 5 : Fiches utilisées pour les scenarii sur Ajaccio	11
Figure 6 : Fiches utilisées pour les scenarii sur Bastia	12
Figure 7 : Pourcentage de différences d'émissions entre les scenarii avec la situation 2021 à Ajaccio	24
Figure 8 : Pourcentage de différences d'émissions entre les scenarii avec la situation 2021 à Bastia	25
Figure 9 : Cartes des concentrations moyennes en SO ₂ en µg.m ⁻³ à Ajaccio le 15/09/2021 pour le scenario de référence (A) et pour les scenarii SECA(B) puis SECA + CENAQ (C).	29
Figure 10 : Cartes des concentrations moyennes en NO ₂ en µg.m ⁻³ à Ajaccio le 15/09/2021 pour le scenario de référence (A) et pour les scenarii SECA(B) puis SECA + CENAQ (C).	30
Figure 11 : Cartes des concentrations moyennes en PM _{2.5} en µg.m ⁻³ à Ajaccio le 15/09/2021 pour le scenario de référence (A) et pour les scenarii SECA(B) puis SECA + CENAQ (C).	31
Figure 12 : Cartes des concentrations moyennes en PM ₁₀ en µg.m ⁻³ à Ajaccio le 15/09/2021 pour le scenario de référence (A) et pour les scenarii SECA(B) puis SECA + CENAQ (C).	32
Figure 13 : Cartes des concentrations moyennes en SO ₂ en µg.m ⁻³ à Ajaccio le 12/09/2021 pour le scenario de référence (A) et pour les scenarii SECA(B) puis SECA + CENAQ + 1 GNL (C).	33
Figure 14 : Cartes des concentrations moyennes en NO ₂ en µg.m ⁻³ à Ajaccio le 12/09/2021 pour le scenario de référence (A) et pour les scenarii SECA(B) puis SECA + CENAQ + 1 GNL (C).	34
Figure 15 : Cartes des concentrations moyennes en PM _{2.5} en µg.m ⁻³ à Ajaccio le 12/09/2021 pour le scenario de référence (A) et pour les scenarii SECA(B) puis SECA + CENAQ + 1 GNL (C).	35
Figure 16 : Cartes des concentrations moyennes en PM ₁₀ en µg.m ⁻³ à Ajaccio le 12/09/2021 pour le scenario de référence (A) et pour les scenarii SECA(B) puis SECA + CENAQ + 1 GNL (C).	36
Figure 17 : Cartes des concentrations moyennes en SO ₂ en µg.m ⁻³ à Bastia le 27/08/2021 pour le scenario de référence (A) et pour les scenarii SECA(B) puis SECA + CENAQ (C).	37
Figure 18 : Cartes des concentrations moyennes en NO ₂ en µg.m ⁻³ à Bastia le 27/08/2021 pour le scenario de référence (A) et pour les scenarii SECA(B) puis SECA + CENAQ (C).	38
Figure 19 : Cartes des concentrations moyennes en PM _{2.5} en µg.m ⁻³ à Bastia le 27/08/2021 pour le scenario de référence (A) et pour les scenarii SECA(B) puis SECA + CENAQ (C).	39
Figure 20 : Cartes des concentrations moyennes en PM ₁₀ en µg.m ⁻³ à Bastia le 27/08/2021 pour le scenario de référence (A) et pour les scenarii SECA(B) puis SECA + CENAQ (C).	40
Figure 21 : Cartes des concentrations moyennes en SO ₂ en µg.m ⁻³ à Bastia le 14/07/2021 pour le scenario de référence (A) et pour les scenarii SECA(B) puis SECA + CENAQ + 1GNL (C).	41
Figure 22 : Cartes des concentrations moyennes en NO ₂ en µg.m ⁻³ à Bastia le 14/07/2021 pour le scenario de référence (A) et pour les scenarii SECA(B) puis SECA + CENAQ + 1GNL (C).	42
Figure 23 : Cartes des concentrations moyennes en PM _{2.5} en µg.m ⁻³ à Bastia le 14/07/2021 pour le scenario de référence (A) et pour les scenarii SECA(B) puis SECA + CENAQ + 1GNL (C).	43
Figure 24 : Cartes des concentrations moyennes en PM ₁₀ en µg.m ⁻³ à Bastia le 14/07/2021 pour le scenario de référence (A) et pour les scenarii SECA(B) puis SECA + CENAQ + 1GNL (C).	44
Figure 25 : Boxplot des concentrations avec fond uniquement sur terre (Ajaccio).....	45

Figure 26 : Boxplot ratio des concentrations scenarii/ref sans le fond uniquement sur terre (Ajaccio)	45
Figure 27 : Boxplot des concentrations avec fond uniquement sur terre (Ajaccio)	46
Figure 28 : Boxplot ratio des concentrations scenarii/ref sans le fond uniquement sur terre (Ajaccio)	46
Figure 29 : Boxplot des concentrations avec fond uniquement sur terre (Bastia)	47
Figure 30 : Boxplot ratio des concentrations scenarii/ref sans le fond uniquement sur terre (Bastia)	47
Figure 31 : Boxplot des concentrations avec fond uniquement sur terre (Bastia)	48
Figure 32 : Boxplot ratio des concentrations scenarii/ref sans le fond uniquement sur terre (Bastia)	48

Table des tableaux

Tableau 1 : Facteurs d'émission en NO _x , SO _x et PM _{2.5} extraits de la base de données OMINEA du CITEPA	13
Tableau 2 : Quantité de polluants émis par les ferries, cas de base - Ajaccio, 2021	14
Tableau 3 : Quantité de polluants émis par les ferries, cas de base - Bastia, 2021	15
Tableau 4 : Chronologie partielle d'une escale avec CENAQ	16
Tableau 5 : Quantité de polluants émis par les ferries, CENAQ - Ajaccio, 2021	17
Tableau 6 : Quantité de polluants émis par les ferries, CENAQ - Bastia, 2021	17
Tableau 7 : Différences entre le scénario de base et l'utilisation de CENAQ (%)	18
Tableau 8 : Quantité de polluants émis par les ferries, SECA - Ajaccio, 2021	19
Tableau 9 : Quantité de polluants émis par les ferries, SECA - Bastia, 2021	19
Tableau 10 : Différences entre le scénario de base et l'utilisation du SECA (%)	20
Tableau 11 : Quantité de polluants émis par les ferries, GNL - Ajaccio, 2021	21
Tableau 12 : Quantité de polluants émis par les ferries, GNL - Bastia, 2021	21
Tableau 13 : Différences entre le scénario de base et une flotte 100% au GNL (%)	22
Tableau 14 : Emissions en CO _{2eq} d'un scénario 100% GNL	22
Tableau 15 : Différences entre le scénario de base et des scenarii combinés (%) - Manœuvre + Quai	23
Tableau 16 : Dates et modélisations concernées sur les ports d'Ajaccio et Bastia	26
Tableau 17 : Concentrations de fond moyennes en µg.m ⁻³ estimées aux stations Ajaccio « Canetto » et Bastia « Giraud » pour les journées de simulations indiquées	27
Tableau 18 : Part de la pollution maritime par rapport aux mesures des stations fixes sur Ajaccio et Bastia en fonction des scenarii (valeurs moyennées sur la journée)	28
Tableau 19 : Réduction des concentrations des panaches à Ajaccio pour les différents scenarii avec comme référence le scénario base	49
Tableau 20 : Réduction des concentrations des panaches à Bastia pour les différents scenarii avec comme référence le scénario base	49

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 T3.3.1.

Suite au travail de bibliographie réalisé par Qualitair Corse concernant les 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 CO₂, les partenaires du projet ont été 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.

Une fois les scénarii définis, le calcul des émissions de ces solutions a été entrepris afin de définir les potentiels gains/pertes par rapport au cadre actuel. En complément, certaines des solutions les plus probantes ont ensuite été modélisées en 3D afin d'obtenir des estimations de concentrations de polluants sur la ville.

La méthode de calibration utilisée est décrite dans le rapport T2.3.1 et ne sera pas développée dans ce rapport T3.3.1 portant sur les résultats des émissions et concentration des scénarii d'atténuation.

1 Méthodologie Qualitair Corse

1.1 : Présentation des scénarios de base des ports d'Ajaccio et Bastia

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 les communautés 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 de base », toute la flotte sera testée selon les différents scenarii définis par les ateliers.

Compte-tenu des contraintes techniques de la modélisation, un premier résultat portera sur la quantité de polluants estimée sur une année de référence (calcul et comparaison des émissions directes dues aux scenarii), puis sur l'impact local via la modélisation de certains de ces scenarii jugés plus pertinents / probables sur des journées spécifiques.

Afin de définir les scenarii à tester pour 2021, un bilan des émissions sur 2019 a été réalisé par type de navires.

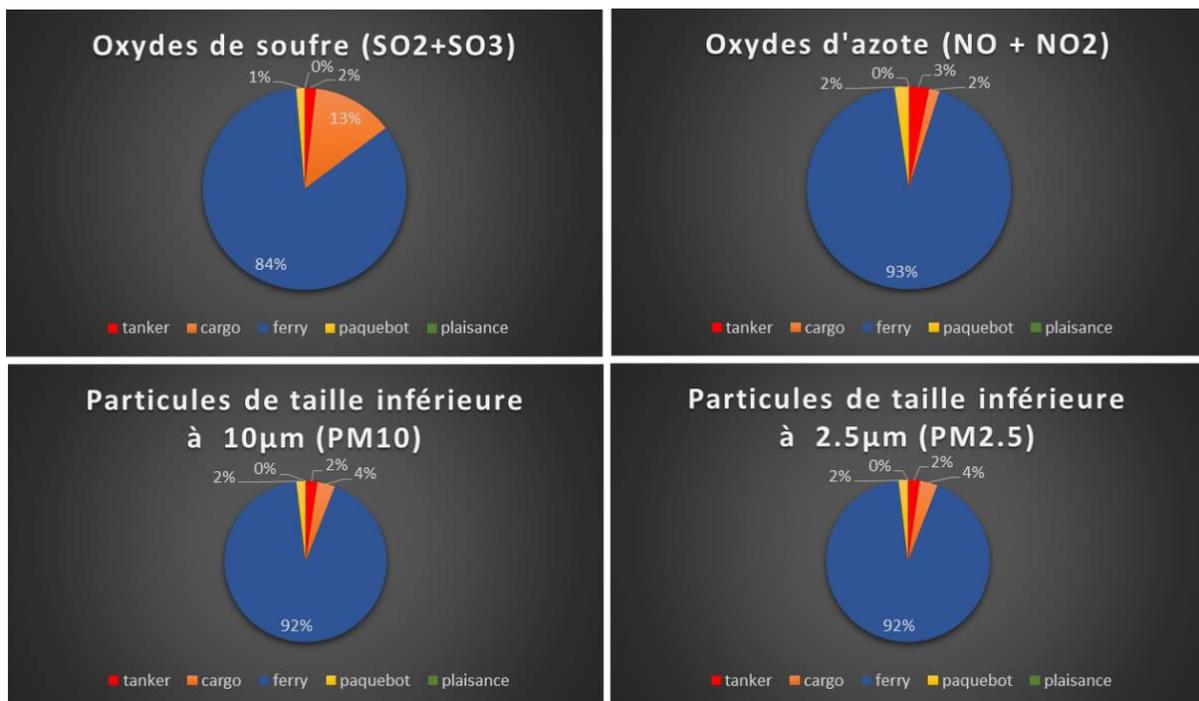


Figure 1 : Répartition des Emissions en fonction du type de navire sur Ajaccio (2019)

Les ferries représentaient la majeure partie des émissions de polluants et de ce fait ce sont en priorité les solutions portant sur la réduction des émissions des navires de transport de passager qui ont été évaluées dans le cadre du programme AER NOSTRUM (à noter que les émissions totales des croisières sur une année complète représente de 2 à 4% des émissions maritimes pour Ajaccio pour la majorité des polluants particuliers et gazeux (13% pour les SO_x). En vérifiant la quantité d'émissions en fonction des différentes phases 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.

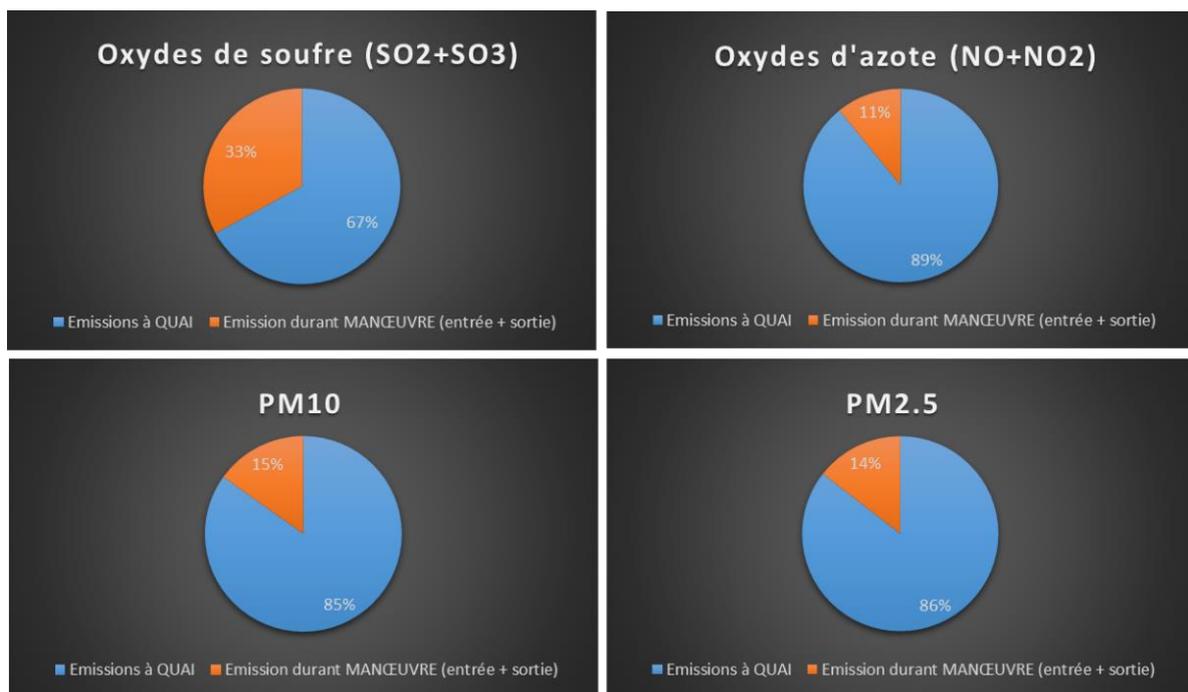


Figure 2 : Répartition des Emissions en fonction de la phase de l'escale sur Ajaccio (2019)

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 40 min), on constate que la phase manœuvre 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.

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).

1.1.1 Scenarii étudiés pour le port d' 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 (Vazzio ~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 :

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' Energie Renouvelable (Hydraulique / Solaire / Eolien...)

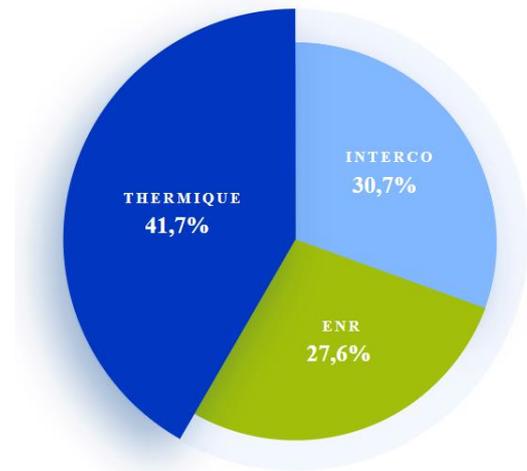


Figure 3 : Mix Énergétique en Corse

Le schéma ci-dessous présente le mix énergétique :

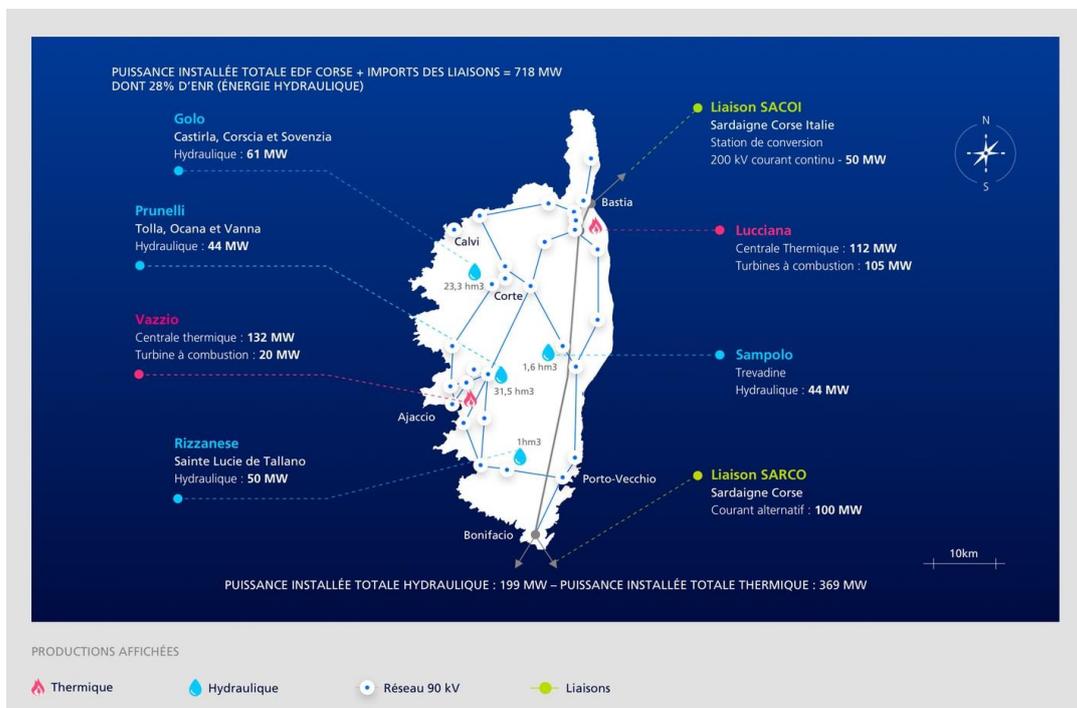


Figure 4 : Installations de production électrique d' EDF en Corse – EDF

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 thermique d'Ajaccio pour assurer les demandes des ferries (le raccordement des bateaux de croisière n'a pas été intégré dans le scénario car jugé techniquement peu réalisable à courts termes étant donné la puissance nécessaire pour ce type de navire), 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.

Suite aux études d'EDF, la production électrique supplémentaire par la centrale thermique d'Ajaccio pour le CENAQ des ferries est de l'ordre de quelques MW (entre 0.6 et 3MW en moyenne).

Au regard de la quantité de polluants supplémentaires engendrée et de la précision du modèle informatique, cette donnée ne semble pas apporter une plus-value dans le calcul des émissions globales de la microrégion et la différence de concentrations reste inférieure à l'incertitude du modèle. De ce fait, les scénarii CENAQ n'intègrent pas une augmentation significative des émissions dans les représentations et les statistiques suivantes en lien avec la production thermique électrique.

Un nouveau navire de la Corsica Linea fonctionnant au GNL est arrivé dans la flotte en 2023, sa prise en compte dans les scénarii peut être intéressante également à quantifier, en remplacement d'un ancien navire. Il a été décidé que leur navire vieillissant « A Nepita » et présent sur de nombreuses escales serait « remplacé » dans les calculs pour le scénario GNL par le nouveau navire, en se basant à nouveau sur les escales 2021.

L'arrivée de la zone SECA en Méditerranée inclut d'emblée un scénario à 0.1% de soufre, a priori déjà respecté lors de la phase à quai (quelque soit la durée) par la majorité des compagnies de ferries recensés, par le biais de filtres ou de meilleur carburant, (notamment suite à la législation imposant ce carburant pour les escales supérieures à 2h). 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.

Les scénarii intermédiaires incluront un assemblage des différentes options.

La liste de scénarii pour lesquels un **calcul des émissions sur l'année 2021** est 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 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

A noter qu'il existait un scénario 3 initialement prévu, correspondant à la prise en compte des émissions de la centrale dans un scénario CENAQ, jugées non pertinentes pour l'outil de modélisation suite aux estimations de puissance électrique requise pour les ferries.

Fiches Scenarii	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
Scenario 0	X									
Scenario 1										X
Scenario 2.1	X	X								
Scenario 2.2		X								X
Scenario 4	X		X							
Scenario 5	X	X	X							
Scenario 6			X							X
Scenario 7		X	X							X

Figure 5 : Fiches utilisées pour les scénarii sur Ajaccio

Les scénarii sélectionnés pour la **partie de modélisation** sont les **0 (Scénario de base), 1 (SECA) et 7 (SECA + CENAQ + 1 GNL)**. En effet, la modélisation de l'impact actuel est primordiale. 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

1.1.2 Scenarii étudiés pour le port de 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 20 km est jugé négligeable car la centrale est trop éloignée pour avoir un impact significatif direct sur la ville. Pour le reste, les mêmes scenarii qu' Ajaccio sont envisagés.

La liste de scenarii avec calcul des émissions sur l'année 2021 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 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

Fiches Scenarii	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
Scenario 0	X									
Scenario 1										X
Scenario 2.1	X	X								
Scenario 2.2		X								X
Scenario 4	X		X							
Scenario 5	X	X	X							
Scenario 6			X							X
Scenario 7		X	X							X

Figure 6 : Fiches utilisées pour les scenarii sur Bastia

A l'instar d' Ajaccio, les scenarii sélectionnés à Bastia pour la **partie de modélisation** sont les **0 (Scénario de base), 1 (SECA) et 7 (SECA + CENAQ + 1 GNL)** qui correspondent au mêmes critères.

Modélisation : Scénario 0 ; Scénario 1 ; Scénario 7

1.2 Emissions des scenarii

1.2.1 Facteurs d'émissions

Les émissions des navires sont calculées selon les préconisations du guide méthodologique pour l'élaboration des inventaires du LCSQA¹ (guide PCIT2²). Ces émissions dépendent de la consommation énergétique des navires, selon la formule :

$$E_i = C F_i$$

où E_i est l'émission [kg] du polluant i , C est la consommation énergétique [J] et F_i est le facteur d'émission propre au polluant i [kg/J]. La consommation énergétique est donnée par la relation :

$$C = G p$$

où G est la consommation de carburant [g de fuel] et p est le pouvoir calorifique inférieur du carburant utilisé [J/g de fuel]. La consommation de carburant dépend de plusieurs facteurs, et en particulier de la jauge brute, qui caractérise la dimension du navire. Elle varie suivant la charge du moteur et donc suivant la phase de circulation considérée, qui peut être une phase « trajet » (navire loin du port), une phase « manœuvre » (navire dans le port) ou phase à quai (navire en stationnement).

Les facteurs d'émission en NO_x , SO_x et $PM_{2.5}$, pour les différents carburants utilisés dans ce travail sont résumés dans le tableau ci-dessous. Les fuels lourds, dont la teneur en soufre s'élève à 3.5%, 1.5% et 0.5% sont regroupés dans la catégorie *Bunker Fuel Oil* (BFO). Pour un carburant dont la teneur en soufre s'élève à 0.1%, on parlera plutôt de diesel marin, ou *Marine Diesel Oil* (MDO). Le BFO et le MDO sont des carburants de viscosité et de composition différentes, c'est pourquoi ils diffèrent non seulement par leurs émissions en SO_x , mais également en NO_x et PM .

<i>FE</i>	<i>NOx</i>	<i>SOx</i>	<i>PM2.5</i>
<i>BFO 3.5%</i>	1982,50	1360,0	147,25
<i>BFO 1.5%</i>		470,0	
<i>BFO 0.5%</i>		265,0	
<i>MDO</i>	1842,72	47,0	33,45

Tableau 1 : Facteurs d'émission en NO_x , SO_x et $PM_{2.5}$ extraits de la base de données OMINEA du CITEPA³.

¹ Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air

² Guide méthodologique pour l'élaboration des inventaires territoriaux des émissions atmosphériques (polluants de l'air et gaz à effet de serre), Ministère de la Transition écologique et solidaire, Direction générale de l'Energie et du climat, Bureau de la Qualité de l'air, version n°2, juin 2018

³ Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique : <https://www.citepa.org/fr/>

1.2.2 Situation actuelle (2021)

Afin d'établir les meilleures estimations de réduction des émissions sur les solutions à venir, il est d'abord important de savoir comment se comporte la flotte actuelle. 25 navires sont référencés en tant que ferries sur les escales à Bastia et Ajaccio, dont les informations ont été obtenues via les compagnies maritimes et la Chambre d'Industrie et de Commerce.

Au total, pour l'année 2021, il y a eu 947 escales à Ajaccio et 1320 à Bastia concernant les ferries recensés par les partenaires du projet.

Les carburants utilisés à ce jour sont principalement du Heavy Fuel Oil (HFO) aussi appelé Bunker Fuel Oil (BFO) pour les phases de manœuvre (à 0.5% de soufre), et du Marine Diesel Oil (MDO) pour les phases à quai (à 0.1% de soufre).

La plupart des navires ont des escales de plus de 2h imposant alors un carburant à 0.1% de soufre en sortie d'émission durant toute la durée sur place, privilégiant alors le MDO comme carburant principal pour l'arrivée et le stationnement à quai. Toutefois, certains navires bénéficient d'un système de traitement des fumées leur permettant de garder l'utilisation d'un carburant plus soufré car ramené aux concentrations réglementaires en sortie d'échappement.

La méthode de calcul des émissions se base alors sur l'équivalent carburant qui est obtenu avec ce système, c'est-à-dire qu'un navire utilisant du HFO à 0.5% filtré pour obtenir 0.1% en sortie de cheminée sera considéré comme utilisant du MDO.

L'année 2021 a été choisie pour calculer les émissions maritimes, et ne prennent en compte que les ferries eux-mêmes (les activités portuaires et annexes ne sont pas incluses dans cette étude). La phase de manœuvre et la phase à quai sont calculées de manière distincte afin d'identifier au mieux l'action de chaque solution simulée :

Polluant	Emissions Ferries – Ajaccio, 2021 (tonnes)	
	Phase de manœuvre	Phase à quai
Dioxyde de carbone (CO ₂)	1600,29	12964,59
Méthane (CH ₄)	0,15	1,23
Monoxyde de carbone (CO)	3,80	30,22
Oxydes d'azote (NO + NO ₂)	40,67	320,59
Oxydes de soufre (SO ₂ + SO ₃)	5,44	8,18
Particules de taille inférieure à 10 µm (PM ₁₀)	3,02	5,82
Particules de taille inférieure à 2.5 µm (PM _{2.5})	2,86	5,51

Tableau 2 : Quantité de polluants émis par les ferries, cas de base - Ajaccio, 2021

Polluant	Emissions Ferries – Bastia , 2021 (tonnes)	
	Phase de manœuvre	Phase à quai
Dioxyde de carbone (CO ₂)	2024,19	9501,12
Méthane (CH ₄)	0,19	0,90
Monoxyde de carbone (CO)	4,80	22,15
Oxydes d'azote (NO + NO ₂)	51,45	234,94
Oxydes de soufre (SO ₂ + SO ₃)	6,88	5,99
Particules de taille inférieure à 10 µm (PM ₁₀)	3,82	4,26
Particules de taille inférieure à 2.5 µm (PM _{2.5})	3,62	4,04

Tableau 3 : Quantité de polluants émis par les ferries, cas de base - Bastia, 2021

Le premier constat qui s'effectue concerne la différence entre la phase à manœuvre et la phase à quai pour les deux ports. Dans tous les cas, la phase à quai émet beaucoup plus que celle en manœuvre. Cela est principalement dû au fait que celle-ci dure beaucoup plus longtemps (parfois jusqu'à 12h à quai contre 1h de manœuvre au total), malgré un débit de polluant plus important lors de l'arrivée et du départ, les moteurs étant beaucoup plus sollicités qu'à l'arrêt.

Un deuxième constat qui en découle est que la phase à quai d'Ajaccio est plus émissive que celle de Bastia, alors que c'est l'inverse pour la manœuvre. Cela s'explique notamment par un nombre plus important d'escales sur Bastia pour une durée totale à quai plus courte que sur Ajaccio.

En effet, la durée totale des escales des ferries recensés s'élève à :

6979 heures sur Ajaccio

5607 heures sur Bastia

Dans l'ordre, on remarque que les polluants principaux toutes phase confondues sont les oxydes d'azote, les oxydes de soufre, le monoxyde de carbone puis les particules fines et enfin le méthane. La suite de rapport visera à étudier l'efficacité des solutions possibles sur la réduction des polluants principaux, tant en phase de manœuvre que de stationnement.

Sur l'année 2021, plus de ferries ont fait escale sur Bastia mais pour une durée totale à quai moins longue que sur Ajaccio. Les émissions totales des ferries sont donc plus importantes sur Ajaccio.

1.2.3 Connexion Electrique des Navires à Quai (CENAQ)

Chronologie : *7 Phases distinctes peuvent être identifiées lors d'une escale maritime (2021).*

- 1 - Phase de Croisière Arrivée (PROP ON BFO, GEN OFF, Hors Zone d'Etude)
- 2 - Phase de Manœuvre Arrivée (PROP ON BFO, GEN OFF, Zone d'Etude)
- 3.1 - Phase à Quai sans CENAQ 1 (PROP OFF, GEN ON MDO, 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 MDO, Zone d'Etude)
- 4 - Phase de Manœuvre Départ (PROP ON BFO, GEN OFF, Zone d'Etude)
- 5 - Phase de Croisière Départ (PROP ON BFO, GEN OFF, Hors Zone d'Etude)

Glossaire :

- T_{DEB}** : Durée du débarquement avec GEN ON (Générateurs avec carburant MDO)
- T_{CENAQ}** : Durée de la phase CENAQ avec GEN OFF
- T_{EMB}** : Durée de l'embarquement avec GEN ON (Générateurs avec carburant MDO)
- T_{QUAI}** : Durée totale à quai avec PROP OFF (= **T_{DEB}** + **T_{CENAQ}** + **T_{EMB}**)
- T_{MAN1}** : Durée totale de la manœuvre arrivée avec PROP ON (Propulseurs en marche avec BFO)
- T_{MAN2}** : Durée totale de la manœuvre départ avec PROP ON (Propulseurs en marche avec BFO)
- T_{PROP}** : Durée totale du navire avec PROP ON (= **T_{MAN1}** + **T_{MAN2}**)
- T_{PORT}** : Durée totale du navire dans la zone d'étude

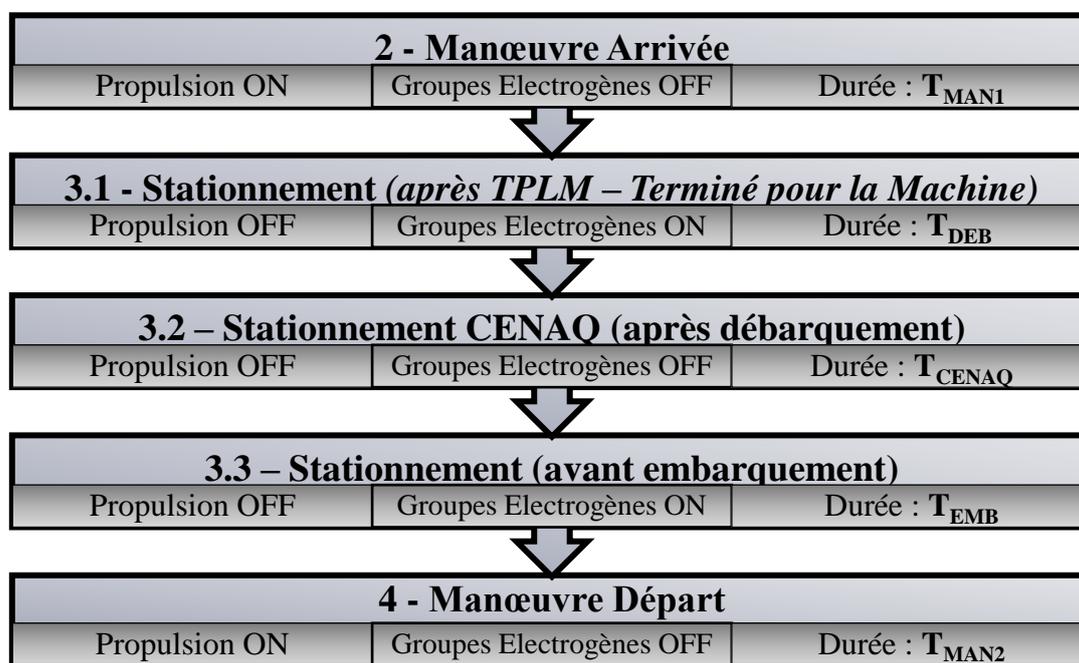


Tableau 4 : Chronologie partielle d'une escale avec CENAQ

La procédure complète de branchement au quai est décrite dans le produit T3.2.1.

Pour les besoins du calcul, les hypothèses suivantes ont été choisies :

- $T_{DEB} = 45 \text{ min}$
- $T_{EMB} = 1 \text{ h } 30$
- **Emissions CENAQ = 0**
- **Escales choisies pour le CENAQ > 2h30**

Polluant	Emissions Ferries – Ajaccio, 2021 (tonnes)	
	Phase de manœuvre	Phase à quai
Dioxyde de carbone (CO ₂)	1600,29	3347,69
Méthane (CH ₄)	0,15	0,32
Monoxyde de carbone (CO)	3,80	7,80
Oxydes d'azote (NO + NO ₂)	40,67	82,78
Oxydes de soufre (SO ₂ + SO ₃)	5,44	2,11
Particules de taille inférieure à 10 µm (PM ₁₀)	3,02	1,50
Particules de taille inférieure à 2.5 µm (PM _{2.5})	2,86	1,42

Tableau 5 : Quantité de polluants émis par les ferries, CENAQ - Ajaccio, 2021

Polluant	Emissions Ferries – Bastia , 2021 (tonnes)	
	Phase de manœuvre	Phase à quai
Dioxyde de carbone (CO ₂)	2024,19	3459,17
Méthane (CH ₄)	0,19	0,33
Monoxyde de carbone (CO)	4,80	8,06
Oxydes d'azote (NO + NO ₂)	51,45	85,54
Oxydes de soufre (SO ₂ + SO ₃)	6,88	2,18
Particules de taille inférieure à 10 µm (PM ₁₀)	3,82	1,55
Particules de taille inférieure à 2.5 µm (PM _{2.5})	3,62	1,47

Tableau 6 : Quantité de polluants émis par les ferries, CENAQ - Bastia, 2021

En reprenant les émissions du cas de base, on peut ainsi sortir les différents gains obtenus grâce à l'utilisation du CENAQ.

Polluant	Différences CENAQ / Base (%)					
	Phase de manœuvre		Phase à quai		TOTAL	
	AJA	BIA	AJA	BIA	AJA	BIA
CO ₂	0%	0%	-74%	-64%	-66%	-52%
CH ₄	0%	0%	-74%	-64%	-66%	-52%
CO	0%	0%	-74%	-64%	-66%	-52%
NO + NO ₂	0%	0%	-74%	-64%	-66%	-52%
SO ₂ + SO ₃	0%	0%	-74%	-64%	-45%	-30%
PM ₁₀	0%	0%	-74%	-64%	-49%	-34%
PM _{2.5}	0%	0%	-74%	-64%	-49%	-34%

Tableau 7 : Différences entre le scénario de base et l'utilisation de CENAQ (%)

De manière évidente, la réduction des émissions concerne uniquement la phase à quai. Celle-ci étant la plus émissive sur une escale complète, cela se retrouve également dans un pourcentage de réduction important au total. Tous les polluants sont concernés, les moteurs étant par définition éteints durant la période de branchement au quai.

La différence entre les deux ports s'expliquent par la quantité plus important d'escales longues à Ajaccio, dont la technologie CENAQ semble particulièrement adaptée (toutefois en considérant l'impact sur le réseau électrique et sur la pollution locale comme négligeable, comme évoqué plus haut dans ce rapport).

En résumé, une solution de type CENAQ pourrait apporter aux ports principaux de Corse une **réduction allant de 30 à 66% de réduction tout polluants confondus**. Cette solution concerne uniquement les ferries faisant escale pour au moins 2h30, la procédure de branchement à quai ne permettant pas actuellement de connecter les escales plus courtes (notamment, les escales en période estivale durant pour certaines à peine une heure).

1.2.4 Zone SECA

Dans le cadre de la mise en place de la zone SECA en Méditerranée, tous les armateurs transportant des passagers devront respecter une norme imposant en sortie de cheminée des émissions équivalentes à un carburant à 0.1% de soufre. Cela peut être fait directement en changeant le carburant ou via l'utilisation de filtres à particules / scrubbers.

La plupart des ferries accostant dans les ports Corses respectent déjà cette législation lors du stationnement (car obligation du passage à 0.1% pour les escales supérieures à 2h, mais étendue par les compagnies maritimes à quasiment toutes les escales). La différence en termes d'émissions concerne alors principalement la phase de manœuvre comme le montre le tableau suivant :

Polluant	Emissions Ferries – Ajaccio, 2021 (tonnes)	
	Phase de manœuvre	Phase à quai
Dioxyde de carbone (CO ₂)	1505,48	12964,59
Méthane (CH ₄)	0,14	1,23
Monoxyde de carbone (CO)	3,51	30,22
Oxydes d'azote (NO + NO ₂)	37,23	320,59
Oxydes de soufre (SO ₂ + SO ₃)	0,95	8,18
Particules de taille inférieure à 10 µm (PM ₁₀)	0,68	5,82
Particules de taille inférieure à 2.5 µm (PM _{2.5})	0,64	5,51

Tableau 8 : Quantité de polluants émis par les ferries, SECA - Ajaccio, 2021

Polluant	Emissions Ferries – Bastia , 2021 (tonnes)	
	Phase de manœuvre	Phase à quai
Dioxyde de carbone (CO ₂)	1936,95	9501,12
Méthane (CH ₄)	0,18	0,90
Monoxyde de carbone (CO)	4,52	22,15
Oxydes d'azote (NO + NO ₂)	47,90	234,94
Oxydes de soufre (SO ₂ + SO ₃)	1,22	5,99
Particules de taille inférieure à 10 µm (PM ₁₀)	0,87	4,26
Particules de taille inférieure à 2.5 µm (PM _{2.5})	0,82	4,04

Tableau 9 : Quantité de polluants émis par les ferries, SECA - Bastia, 2021

Polluant	Différences SECA / Base (%)					
	Phase de manœuvre		Phase à quai		TOTAL	
	AJA	BIA	AJA	BIA	AJA	BIA
CO ₂	-6%	-4%	0%	0%	-1%	-1%
CH ₄	-8%	-6%	0%	0%	-1%	-1%
CO	-8%	-6%	0%	0%	-1%	-1%
NO + NO ₂	-8%	-7%	0%	0%	-1%	-1%
SO ₂ + SO ₃	-83%	-82%	0%	0%	-33%	-44%
PM ₁₀	-78%	-77%	0%	0%	-27%	-37%
PM _{2.5}	-78%	-77%	0%	0%	-27%	-37%

Tableau 10 : Différences entre le scénario de base et l'utilisation du SECA (%)

La phase de manœuvre observe les plus gros changements au niveau des particules fines ainsi que du dioxyde de soufre, résultant de l'utilisation d'un carburant de meilleure qualité / d'une meilleure filtration. Peu de changements sont à noter au niveau du dioxyde de carbone et d'azote, et comme aucune différence n'est relevée concernant la phase à quai (de par l'utilisation déjà en place du MDO comme carburant à quai), les gains finaux sont disparates.

Au total, la solution de la zone SECA permettra une réduction d'environ **30% des émissions de particules fines et oxydes de soufre**, sans toutefois réduire significativement les autres polluants.

1.2.5 Navires au GNL

Un scénario intéressant à prendre en compte concerne l'arrivée sur le marché de navires aux GNL pour le transport de passager (déjà en place pour certains navires de croisières et cargos). L'étude a calculé l'impact d'un remplacement complet de la flotte actuelle avec des navires fonctionnant au GNL. A noter que dans ces scénarii, un navire au GNL ne se raccordera pas au CENAQ car jugé plus propre par les armateurs.

Polluant	Emissions Ferries – Ajaccio, 2021 (tonnes)	
	Phase de manœuvre	Phase à quai
Dioxyde de carbone (CO ₂)	991,64	7950,79
Méthane (CH ₄)	18,46	148,04
Monoxyde de carbone (CO)	2,82	22,64
Oxydes d'azote (NO + NO ₂)	2,82	22,64
Oxydes de soufre (SO ₂ + SO ₃)	0,01	0,06
Particules de taille inférieure à 10 µm (PM ₁₀)	0,06	0,52
Particules de taille inférieure à 2.5 µm (PM _{2.5})	0,00	0,00

Tableau 11 : Quantité de polluants émis par les ferries, GNL - Ajaccio, 2021

Polluant	Emissions Ferries – Bastia , 2021 (tonnes)	
	Phase de manœuvre	Phase à quai
Dioxyde de carbone (CO ₂)	1251,25	5838,18
Méthane (CH ₄)	23,30	108,70
Monoxyde de carbone (CO)	3,56	16,62
Oxydes d'azote (NO + NO ₂)	3,56	16,62
Oxydes de soufre (SO ₂ + SO ₃)	0,01	0,04
Particules de taille inférieure à 10 µm (PM ₁₀)	0,08	0,38
Particules de taille inférieure à 2.5 µm (PM _{2.5})	0,00	0,00

Tableau 12 : Quantité de polluants émis par les ferries, GNL - Bastia, 2021

Les résultats obtenus ici sont particulièrement intéressants dans la mesure où la plupart des polluants enregistrent une baisse significative, allant pour certains jusqu'à 100% de réduction. C'est le cas notamment des oxydes de soufre, n'étant pas présent dans le carburant de base (GNL).

Une baisse significative des émissions de CO₂ est à noter également, tout comme celle des oxydes d'azote.

Polluant	Différences GNL / Base (%)					
	Phase de manœuvre		Phase à quai		TOTAL	
	AJA	BIA	AJA	BIA	AJA	BIA
CO ₂	-38%	-38%	-39%	-39%	-39%	-38%
CH ₄	11899%	11870%	11983%	12007%	11974%	11982%
CO	-26%	-26%	-25%	-25%	-25%	-25%
NO + NO ₂	-93%	-93%	-93%	-93%	-93%	-93%
SO ₂ + SO ₃	-100%	-100%	-99%	-99%	-100%	-100%
PM ₁₀	-98%	-98%	-91%	-91%	-93%	-94%
PM _{2.5}	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%

Tableau 13 : Différences entre le scénario de base et une flotte 100% au GNL (%)

Le GNL étant du gaz naturel liquide, composé principalement de méthane, on constate toutefois une très forte augmentation des émissions de ce dernier en sortie d'échappement. Il est alors important de quantifier la réduction des émissions de CO₂ par rapport à l'augmentation de celles de CH₄.

En effet, le pouvoir réchauffant du méthane étant 28 fois plus important que celui du dioxyde de carbone, il est nécessaire de calculer les émissions de CO_{2eq} afin de quantifier au mieux cette réduction totale (ou non), selon la formule ci-dessous :

$$F_{CO_{2eq}} = \alpha_{CO_2} F_{CO_2} + \alpha_{CH_4} F_{CH_4} + \alpha_{N_2O} F_{N_2O}$$

où α_i est le pouvoir de réchauffement global du gaz i , rapporté au pouvoir réchauffant de la même masse de CO₂ sur une période de 100 ans. Par définition, $\alpha_{CO_2} = 1$; les valeurs utilisées pour les autres gaz, $\alpha_{CH_4} = 28$ $\alpha_{N_2O} = 265$, sont issues du cinquième rapport du GIEC.

Précision faite qu'aucune émission de N₂O n'a été calculée lors de cette étude.

Polluant	Différences GNL / Base (%)					
	Phase de manœuvre		Phase à quai		TOTAL	
	AJA	BIA	AJA	BIA	AJA	BIA
CO _{2eq}	1508,62 t	1903,58 t	12095,88 t	8881,88 t	13604,51 t	10785,46 t
	-6%	-7%	-7%	-6%	-7%	-7%
CO ₂	-38%	-38%	-39%	-39%	-39%	-38%
CH ₄	11899%	11870%	11983%	12007%	11974%	11982%

Tableau 14 : Emissions en CO_{2eq} d'un scénario 100% GNL

Il en ressort que le scénario GNL, bien qu'annonçant une forte baisse des émissions de CO₂, enregistre une très forte hausse des émissions de méthane au pouvoir réchauffant bien plus impactant, diminuant alors les performances globales de ce carburant. L'ajout dans le calcul des émissions de N₂O pourrait venir alourdir le bilan final.

En résumé, un scénario 100% GNL permettrait de réduire complètement les émissions de particules fines et d'oxydes de soufre, de réduire drastiquement celles d'oxyde d'azote, mais n'aurait qu'un faible impact dans la réduction des gaz à effet de serre.

1.2.6 Scenarii combinés

Il n'existe pas d'unique solution pour réduire les émissions de polluant. Les scenarii précédemment évoqués peuvent être alors combinés afin de bénéficier du meilleur facteur de réduction de chaque technologie, sur toutes les phases de l'escal.

Les différents scenarii calculés en émissions sont les suivants :

Remplacement d'un navire existant par un navire fonctionnant au GNL

CENAQ + SECA

CENAQ + Remplacement d'un navire existant par un navire fonctionnant au GNL

SECA + Remplacement d'un navire existant par un navire fonctionnant au GNL

CENAQ + Remplacement d'un navire existant par un navire fonctionnant au GNL + SECA

A noter que le navire au GNL ne se branchera pas au CENAQ.

Polluant	Différences Scenarii combinés / Base (%) TOTAL (Manœuvre + Quai)									
	Remplacement 1 GNL		SECA + 1 GNL		CENAQ + 1 GNL		CENAQ + SECA		CENAQ + SECA + 1 GNL	
	AJA	BIA	AJA	BIA	AJA	BIA	AJA	BIA	AJA	BIA
CO ₂	-10%	-2%	-10%	-3%	-68%	-53%	-67%	-53%	-57%	-45%
CH ₄	2980%	708%	2979%	707%	687%	62%	-67%	-54%	2932%	74%
CO	-6%	-1%	-7%	-3%	-67%	-53%	-67%	-54%	-54%	-45%
NO + NO ₂	-23%	-5%	-24%	-7%	-72%	-53%	-67%	-54%	-71%	-46%
SO ₂ + SO ₃	-22%	-4%	-50%	-47%	-54%	-31%	-78%	-74%	-82%	-69%
PM ₁₀	-21%	-4%	-43%	-40%	-58%	-35%	-75%	-70%	-78%	-65%
PM _{2,5}	-23%	-4%	-45%	-40%	-58%	-35%	-75%	-70%	-80%	-65%
CO _{2eq}	-2%	0%	-2%	-1%	-66%	-52%	-67%	-53%	-50%	-45%

Tableau 15 : Différences entre le scénario de base et des scenarii combinés (%) - Manœuvre + Quai

En combinant les résultats de tous les scenarii, certaines solutions semblent plus adaptées que d'autres.

Le remplacement d'un navire vieillissant de la flotte par un nouveau navire au GNL permettra de réduire d'une partie significative les émissions de polluants principaux (avec l'hypothèse que le navire remplacé est celui dont les émissions individuelles actuelles sont les plus élevées, avec quasiment 20% des émissions de SO_x à lui tout seul.

L'ajout de la norme SECA à ce scénario permettra de réduire davantage les particules fines et oxydes de soufre comme vu précédemment.

Le scénario apportant le plus de réduction en termes d'émissions globales est celui concernant le respect de la norme SECA couplé à l'utilisation du CENAQ. Notamment en ce qui concerne les émissions de gaz à effet de serre.

En revanche, le remplacement d'un des navires existants par un navire au GNL permet d'accentuer la réduction des polluants atmosphériques au détriment des émissions de gaz à effet de serre, car il n'est prévu de connexion au CENAQ pour les navires au GNL, car considérés plus « propres » par les armateurs que le mix énergétique corse (navires récents / moteurs récents).

Un cas intéressant aurait été de vérifier si une flotte 100% GNL se branchant au CENAQ permettrait de réduire davantage les émissions globales, mais il n'a pas été question de l'étudier suite aux discussions avec les partenaires locaux (pour les raisons évoquées plus haut).

L'étude a permis de montrer que les différentes technologies permettent de réduire plus ou moins drastiquement certaines catégories de polluant. Les choix d'utilisation de telle ou telle solution relèveront alors de la volonté à réduire une catégorie en particulier (GES / Polluants locaux).

Réduction principale des polluants locaux (SO_x, PM_x, NO_x) = SECA + GNL (// CENAQ)

Réduction principale des GES (CO₂ CH₄) = SECA + CENAQ

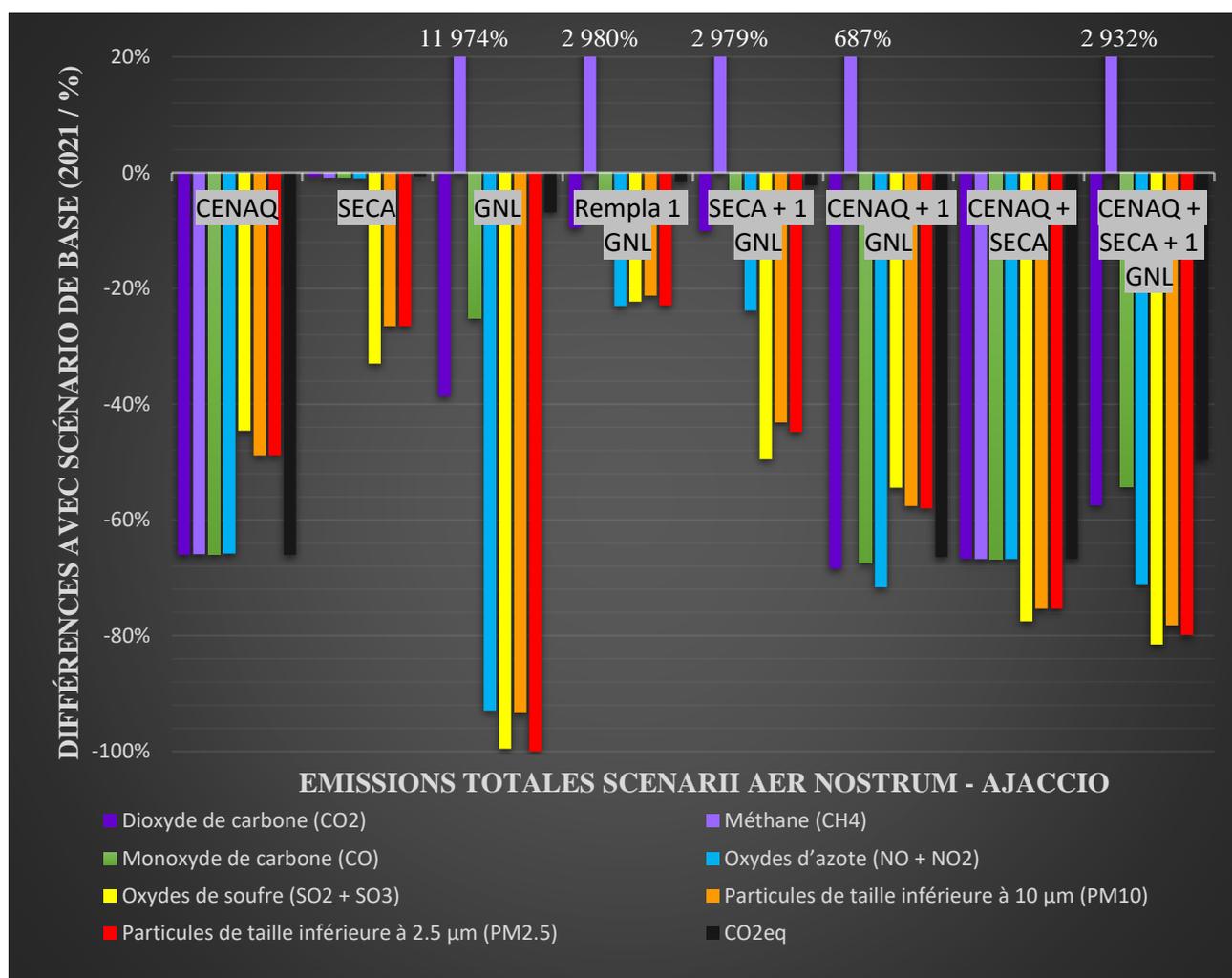


Figure 7 : Pourcentage de différences d'émissions entre les scénarii avec la situation 2021 à Ajaccio

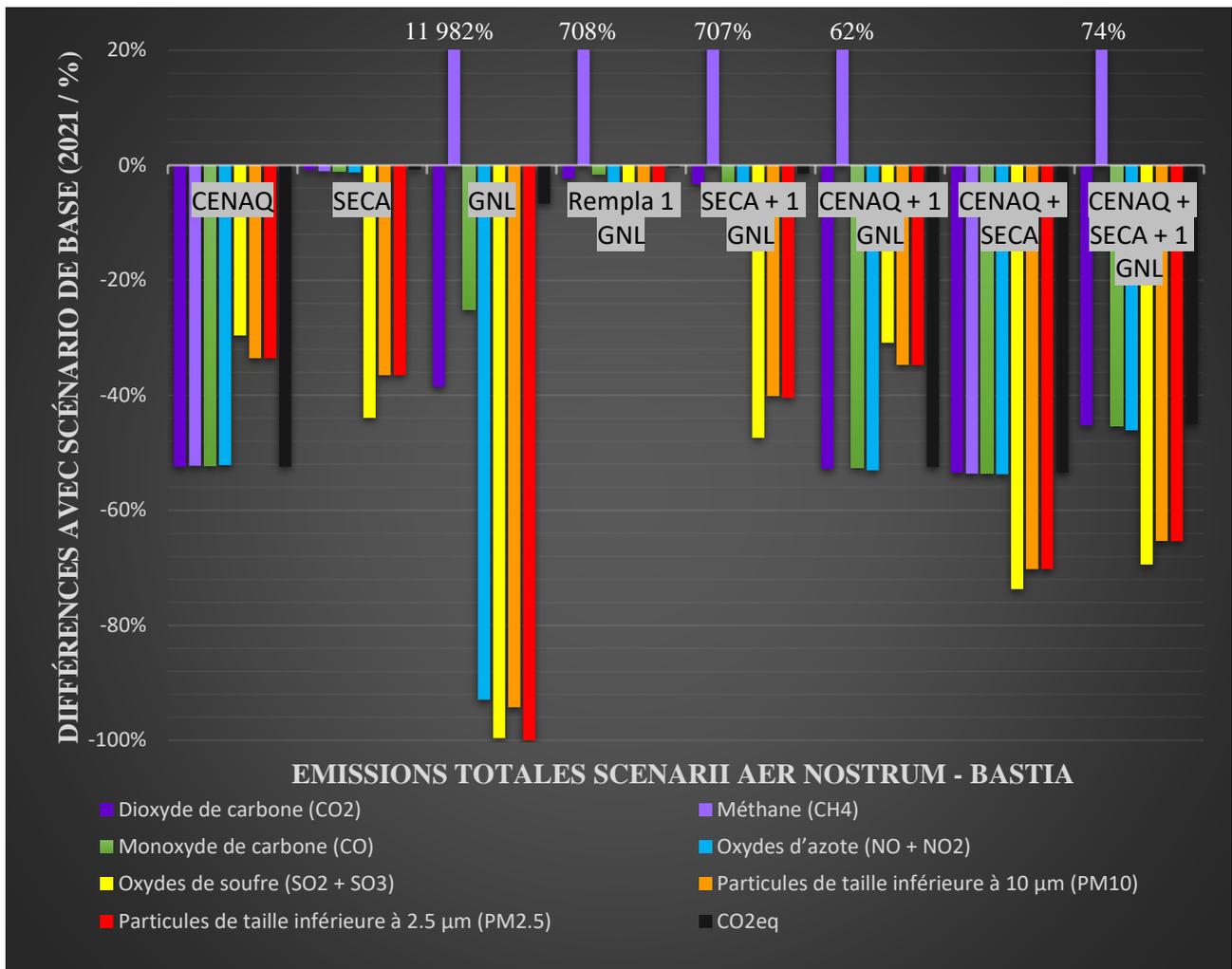


Figure 8 : Pourcentage de différences d'émissions entre les scenarii avec la situation 2021 à Bastia

2 Résultats des scénarii - Modélisation

Afin de qualifier la pollution sur Ajaccio et Bastia et les éventuels gains apportés par les scénarii, quatre journées ont été choisies pour faire tourner des modélisations en 3D.

Ces journées particulières se démarquent par des conditions de vent, de trafic maritime ainsi que de niveaux de pollution enregistrés intéressants à étudier. Suite aux résultats obtenues lors des campagnes de mesures et décrites dans le rapport T1.3.1, les journées du **15/09/2021** sur Ajaccio et du **27/08/2021** sur Bastia ressortent comme étant les plus favorables pour identifier un impact provenant du trafic maritime. Ces journées seront donc modélisées.

Dans le cadre des scénarii GNL, il a été question de modéliser l'impact qu'un nouveau navire fonctionnant au GNL pouvait avoir en venant remplacer un navire vieillissant. Le « A Nepita » a été choisi comme navire à remplacer, les escales concernées sont le 12/09/2021 à Ajaccio et le 14/07/2021 à Bastia.

	<i>Ajaccio</i>		<i>Bastia</i>	
	12/09/2021	15/09/2021	14/07/2021	27/08/2021
<i>Scenario</i>	CENAQ + SECA + 1 GNL	CENAQ + SECA	CENAQ + SECA + 1 GNL	CENAQ + SECA

Tableau 16 : Dates et modélisations concernées sur les ports d'Ajaccio et Bastia

Le modèle utilisé pour ces simulations mensuelles est le modèle PMSS développé par Aria Technologies, qui a été décrit dans le livrable T2.3.1 – Rapport sur les résultats des simulations de modélisation du projet. Ce modèle permet de simuler l'évolution temporelle du champ de concentration dû aux panaches des navires. Pour les NOx et les PM2.5, il est nécessaire d'estimer en plus une concentration de fond. Cette estimation est réalisée par le biais de la station de mesures la plus proche présente sur le domaine de simulation. La concentration de fond C_i^{fond} , est ici définie comme :

$$C_i^{\text{fond}}(t) = C_i^{\text{station}}(t) - C_i^{\text{sim}}(t)$$

où t est le temps, où C_i^{station} est la concentration de l'espèce i mesurée par la station de mesures, et où C_i^{sim} est la concentration du panache simulé de l'espèce i extraite à l'emplacement de la station. Lorsque la modélisation donne $C_i^{\text{sim}} > C_i^{\text{station}}$, on fixe $C_i^{\text{fond}} = 0$.

Les simulations sont réalisées avec un pas de temps d'une heure. Les concentrations de fond ont été estimées dans le livrable T2.3.1 à l'aide des mesures des stations fixes urbaines du réseau de Qualitair Corse. Ces concentrations correspondent au fond estimé pour les scénarii de référence, qui reproduisent la situation dans les ports d'Ajaccio et de Bastia en 2021. Dans ce travail, la réactivité chimique étant négligée, on ne quantifie pas l'impact des variations des concentrations des panaches des navires dans les différents scénarii sur la concentration de fond. C'est donc la même concentration de fond qui sera considérée pour tous les scénarii, celle du scénario de référence. Les moyennes des concentrations de fond estimées pour les deux saisons simulées dans les ports d'Ajaccio et de Bastia sont résumées dans le tableau ci-dessous :

	Ajaccio		Bastia	
	12/09/2021	15/09/2021	14/07/2021	27/08/2021
PM2.5	9.1	10.35	4.6	8.5
PM10	14.3	28.85	11.0	16.5
NO ₂	8.7	33	2.7	6.9
SO ₂	0.2	1.32	-	-
NO ₂ /NO _x	0.9	0.9	0.5	0.7

Tableau 17 : Concentrations de fond moyennes en $\mu\text{g.m}^{-3}$ estimées aux stations Ajaccio « Canetto » et Bastia « Giraud » pour les journées de simulations indiquées

La moyenne des champs de concentrations horaires exportée sur toute la durée des simulations permet d'obtenir un champ de concentration moyen journalier. Ces valeurs moyennes sont analysées sous forme de cartes et sous forme de box-plots (ou « boîtes à moustaches ») des concentrations au-dessus de la terre ferme, où sont les populations exposées. Les espèces modélisées sont les NO_x, SO_x et les PM_{2.5}, mais les espèces analysées, au regard de la réglementation nationale et internationale (lignes directrices de l'OMS) sont NO₂, SO₂ et les PM_{2.5}. Comme dans le livrable T2.3.1, on suppose que le ratio SO₃/SO₂ est suffisamment faible pour faire l'approximation SO₂ \approx SO_x. Les concentrations en NO₂ sont déduites des concentrations en NO_x en appliquant un facteur correctif, correspondant au ratio des concentrations en NO₂ et NO_x. La valeur moyenne de ce ratio, estimée au niveau des stations Ajaccio Canetto et Bastia Giraud sur plusieurs mois, s'élève à 0.8.

Le tableau suivant partage les résultats des moyennes en $\mu\text{g.m}^{-3}$ des concentrations mesurées par les cabines situées près des ports d'Ajaccio et de Bastia pour l'étude, extraites aux emplacements des cabines, aux temps tels que $C_i^{\text{sim}} \neq 0$.

Les scénarii testés sont ceux de base, du SECA ainsi que de la combinaison CENAQ / SECA / 1 GNL.

Les ratios des deux moyennes donnent ainsi la **contribution pour les navires référencés**.

Il est important de noter que ces résultats doivent être nuancés selon les incertitudes au niveau des émissions (qui ne sont pas totalement connues de Qualitair Corse, notamment concernant les navires de croisière). Les journées sur Ajaccio et Bastia ont été également choisies pour n'inclure que des navires connus afin d'obtenir des résultats d'émissions les plus fidèles à la réalité.

La calibration du modèle ainsi que les incertitudes de modélisation sont décrites dans le livrable T2.3.1.

		Ajaccio - Canetto		Bastia - Giraud	
		12/09/2021	15/09/2021	14/07/2021	27/08/2021
PM_{2.5} (µg.m⁻³)					
BASE	Mesures	9.33	12.0	5.5	8.6
	Simulation	3.81	0.78	1.8	0.20
	% Sim/Mes	40.8%	6.5%	32.7%	2.3%
SECA	Simulation	2.55	0.73	1.3	0.15
	% Sim/Mes	27.3%	6.1%	23.6%	1.7%
CENAQ / SECA / GNL	Simulation	1.01	0.30	0.5	0.10
	% Sim/Mes	10.8%	2.5%	9.1%	1.2%
PM₁₀ (µg.m⁻³)					
BASE	Mesures	15.90	31.4	13.9	14.6
	Simulation	5.15	0.94	1.8	0.21
	% Sim/Mes	32.4%	3.0%	12.9%	1.4%
SECA	Simulation	3.98	0.88	1.4	0.17
	% Sim/Mes	25.0%	2.8%	10.1%	1.2%
CENAQ / SECA / GNL	Simulation	1.52	0.25	0.9	0.14
	% Sim/Mes	9.6%	0.8%	6.5%	0.1%
NO₂ (µg.m⁻³)					
BASE	Mesures	-	-	-	-
	Simulation	91.64	37.35	41.2	6.49
	% Sim/Mes	-	-	-	-
SECA	Simulation	89.88	37.25	40.9	8.80
	% Sim/Mes	-	-	-	-
CENAQ / SECA / GNL	Simulation	53.19	17.13	19.5	6.23
	% Sim/Mes	-	-	-	-
SO₂ (µg.m⁻³)					
BASE	Mesures	-	-	-	1.2
	Simulation	8.18	1.15	3.0	0.26
	% Sim/Mes	-	-	-	21.7%
SECA	Simulation	6.37	1.02	2.1	0.31
	% Sim/Mes	-	-	-	25.8%
CENAQ / SECA / GNL	Simulation	1.41	0.46	0.8	0.21
	% Sim/Mes	-	-	-	17.5%

Tableau 18 : Part de la pollution maritime par rapport aux mesures des stations fixes sur Ajaccio et Bastia en fonction des scenarii (valeurs moyennées sur la journée)

2.1 Cartes de modélisation de la pollution pour les différents scenarii

2.1.1 Port d'Ajaccio

Les cartes de concentrations simulées avec fond pour la journée du 15/09/2021 sur Ajaccio. Les cartes situées du côté droit montrent les différences de concentration entre les scenarii et la référence.

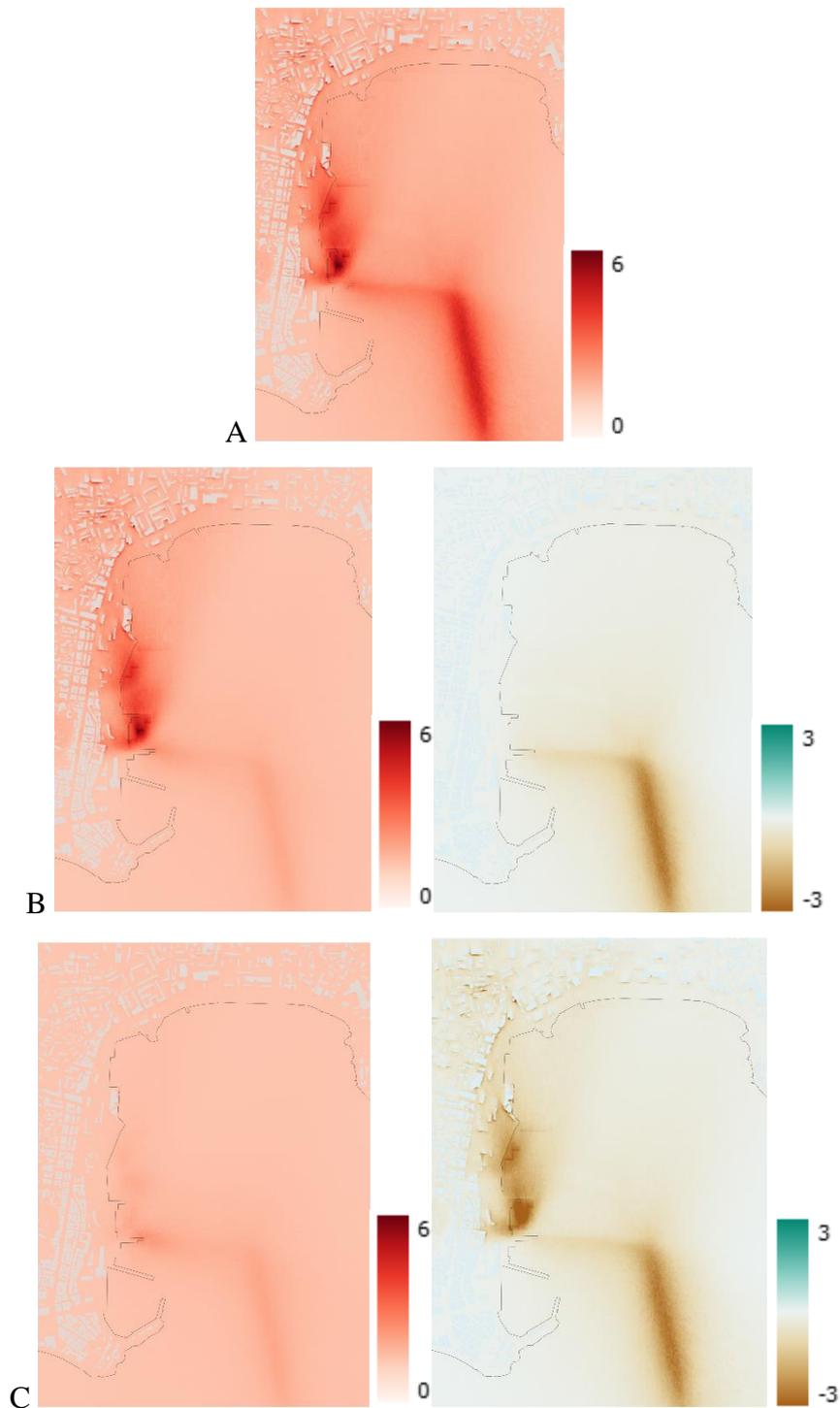


Figure 9 : Cartes des concentrations moyennes en SO₂ en $\mu\text{g.m}^{-3}$ à Ajaccio le 15/09/2021 pour le scenario de référence (A) et pour les scenarii SECA(B) puis SECA + CENAQ (C).

Une baisse de SO₂ est nettement visible respectivement sur la phase manœuvre (B) puis à quai (C), et concerne principalement le littoral proche.

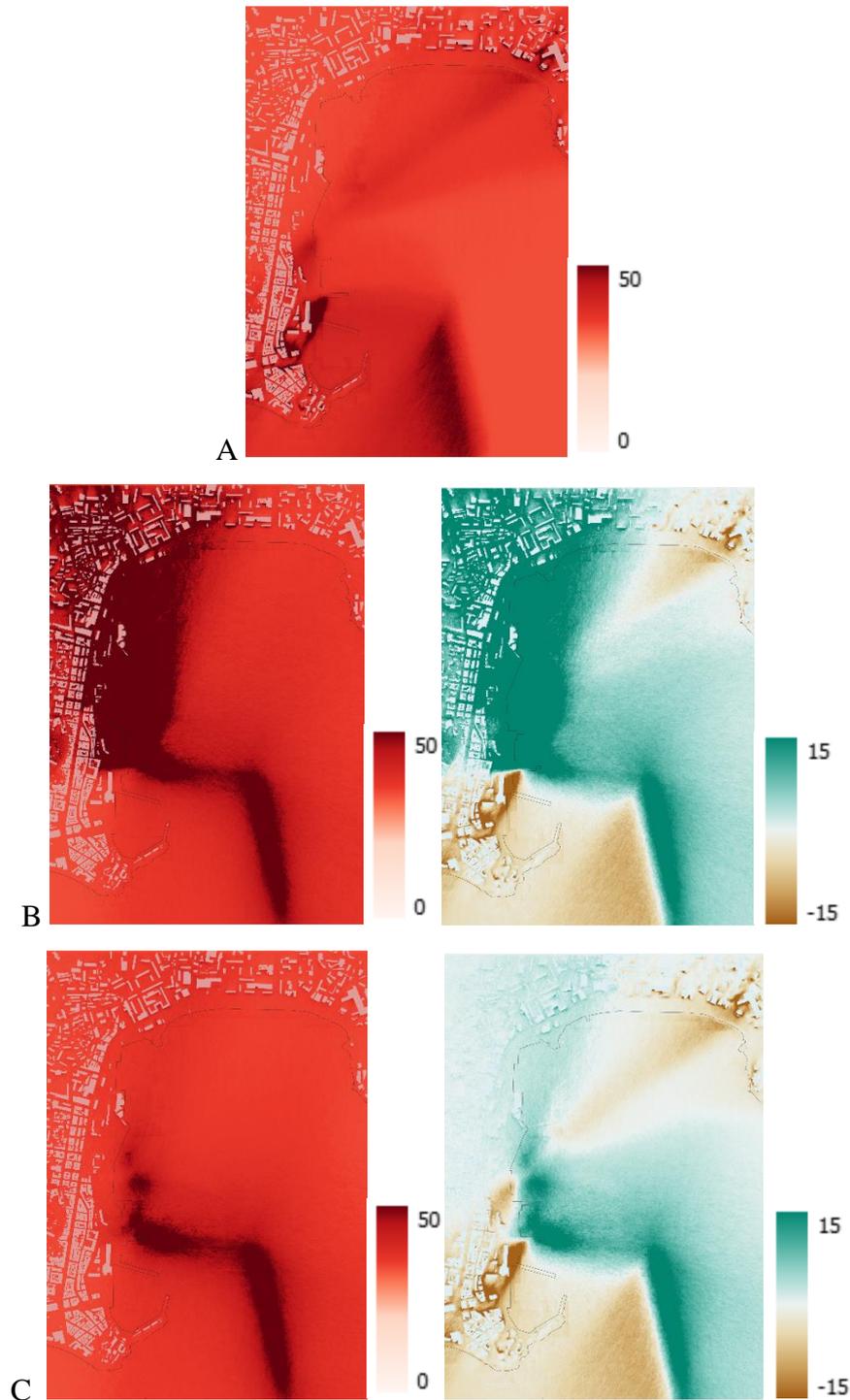


Figure 10 : Cartes des concentrations moyennes en NO₂ en $\mu\text{g.m}^{-3}$ à Ajaccio le 15/09/2021 pour le scénario de référence (A) et pour les scénarii SECA(B) puis SECA + CENAQ (C).

Les simulations sur le NO₂ semblent diverger des attentes en affichant des valeurs bien plus élevées avec l'utilisation du SECA que sur le scénario de base. Il semblerait que des effets de bords numériques soient la cause des valeurs observées. L'étude ne permet pas à ce jour de confirmer ces observations avec les éléments à disposition.

Les résultats obtenus sur ce polluant sont donc à nuancer.

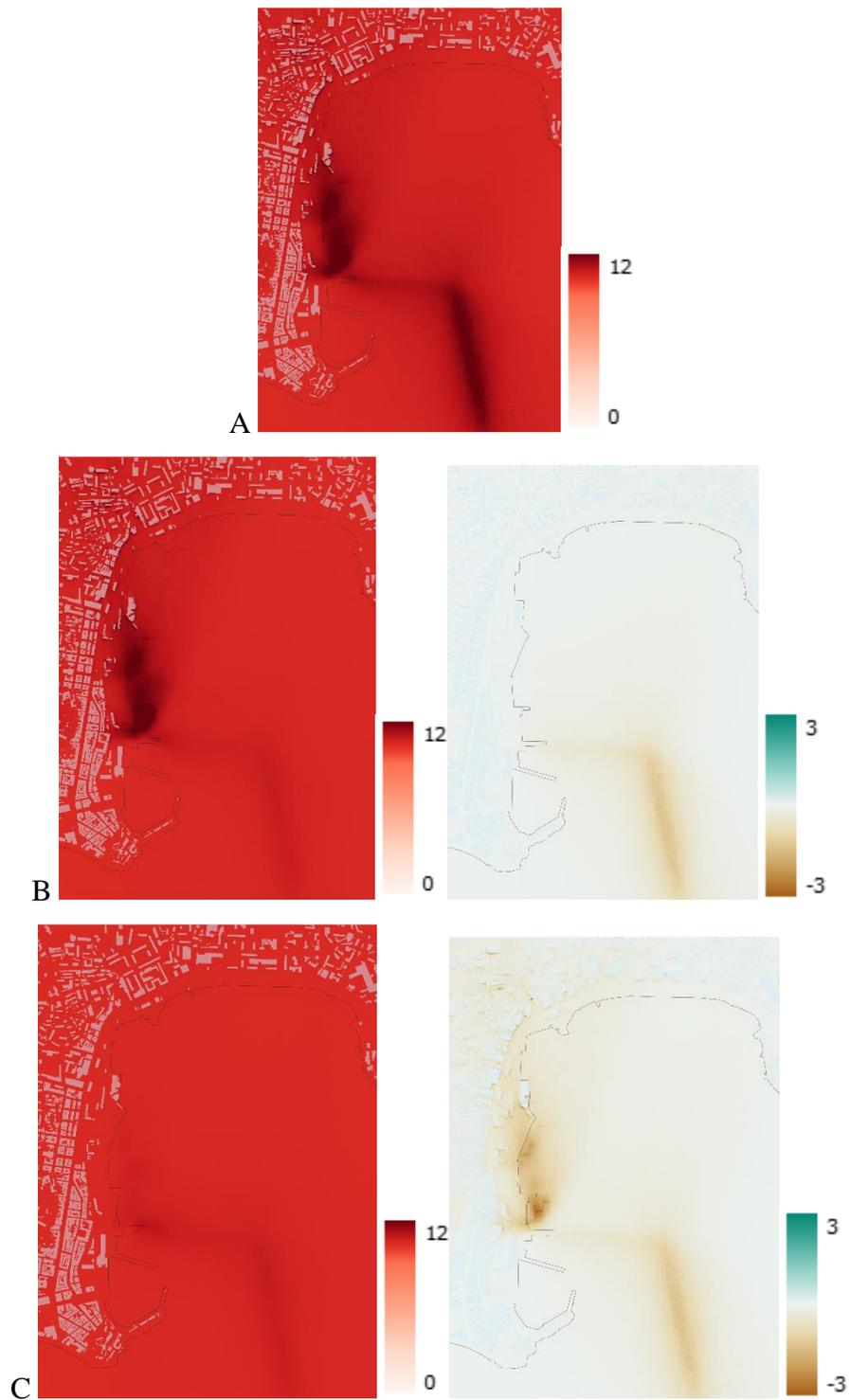


Figure 11 : Cartes des concentrations moyennes en PM_{2.5} en µg.m⁻³ à Ajaccio le 15/09/2021 pour le scénario de référence (A) et pour les scénarii SECA(B) puis SECA + CENAQ (C).

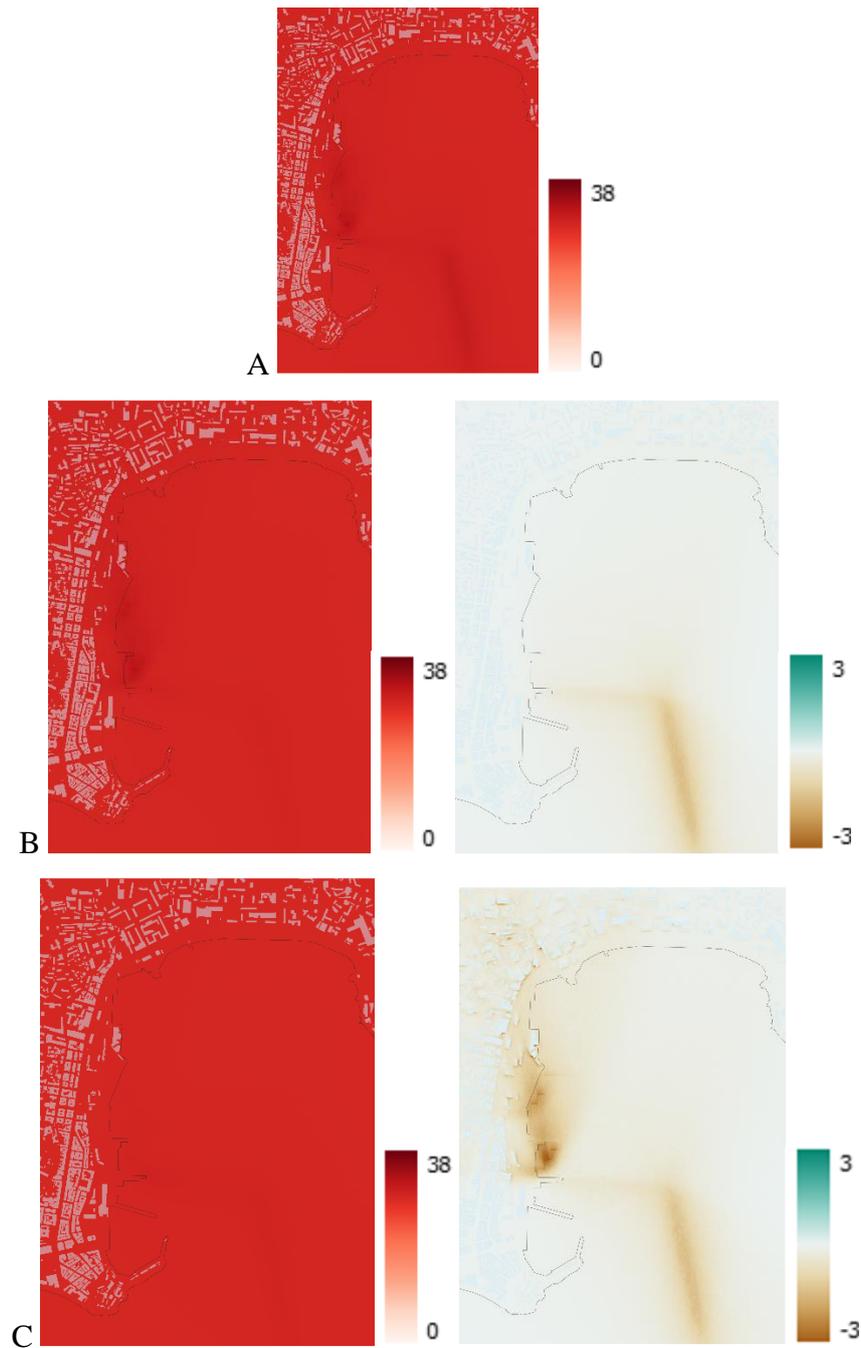


Figure 12 : Cartes des concentrations moyennes en PM₁₀ en $\mu\text{g.m}^{-3}$ à Ajaccio le 15/09/2021 pour le scenario de référence (A) et pour les scenarii SECA(B) puis SECA + CENAQ (C).

Une baisse des particules fines est observée, bien que minime. Cela est à mettre en perspective avec une contribution relativement faible vis-à-vis des émissions du trafic maritime (cf. chapitre sur les résultats d'émissions).

Les cartes de concentrations simulées avec fond pour la journée du 12/09/2021 sur Ajaccio. Les cartes situées du côté droit montrent les différences de concentration entre les scenarii et la référence.

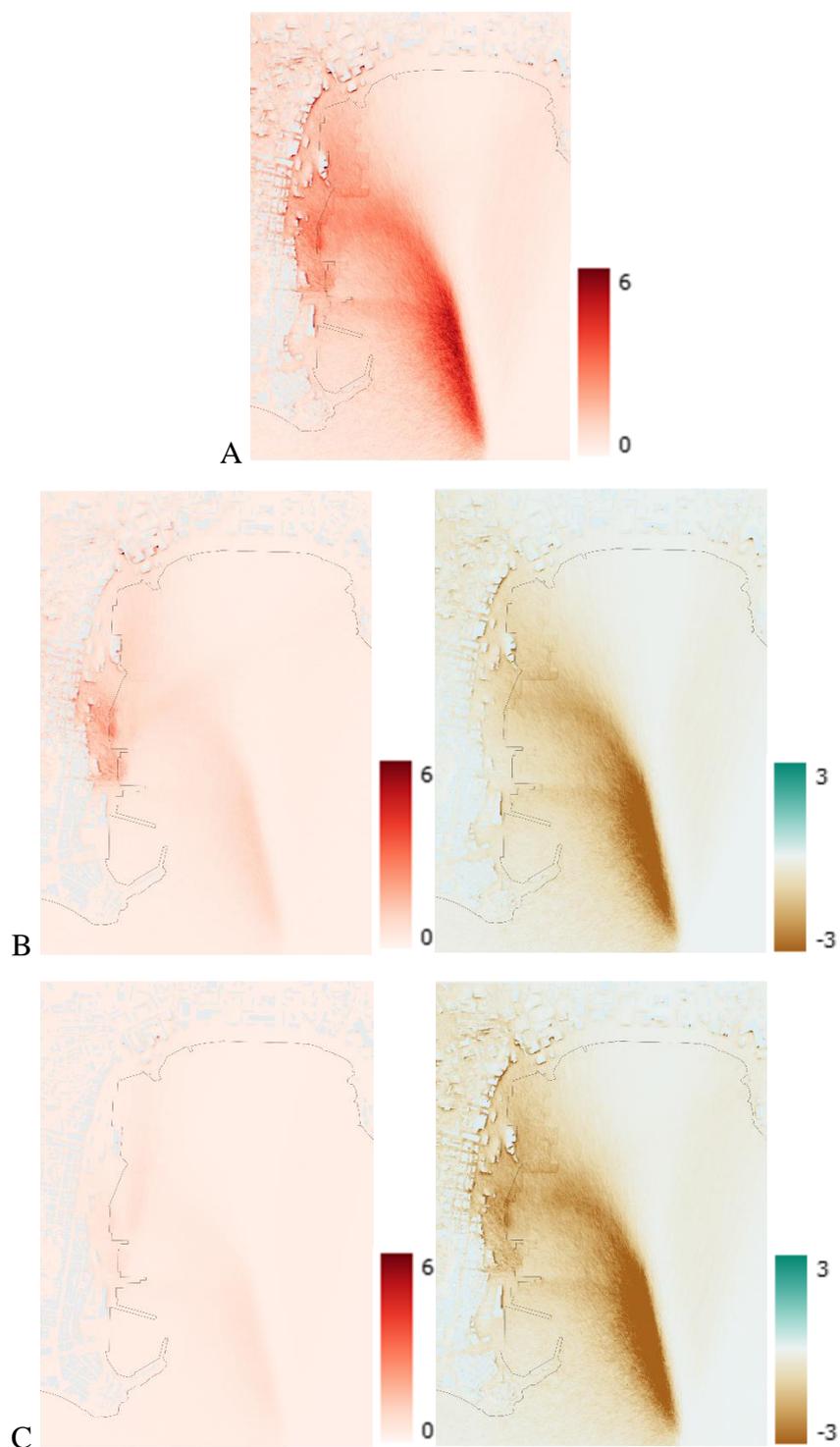


Figure 13 : Cartes des concentrations moyennes en SO_2 en $\mu\text{g.m}^{-3}$ à Ajaccio le 12/09/2021 pour le scenario de référence (A) et pour les scenarii SECA(B) puis SECA + CENAQ + 1 GNL (C).

Une baisse de SO_2 est nettement visible respectivement sur la phase manœuvre (B) puis à quai (C). Cette diminution est plus globalisée dans ce cas-là, rapport avec la météo différente dans ce cas.

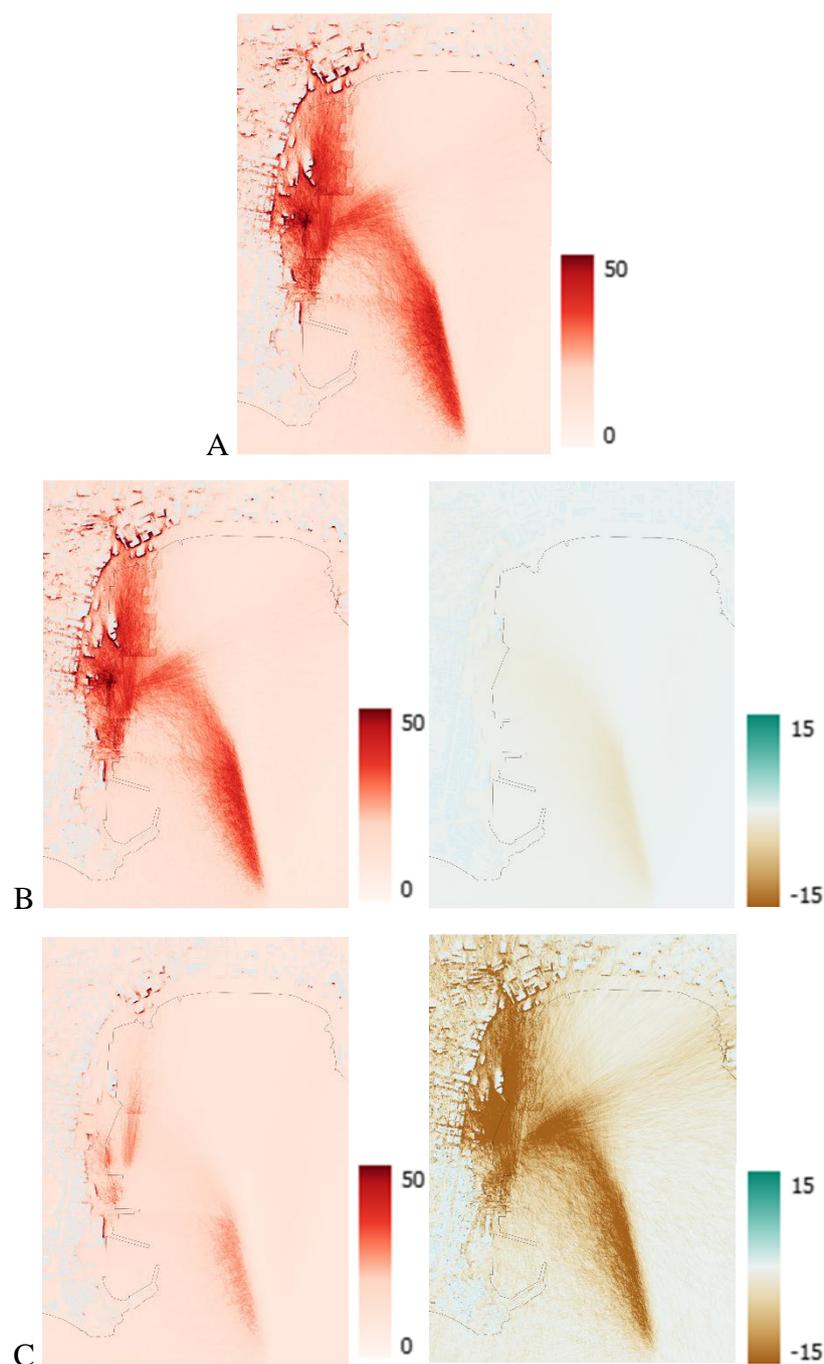


Figure 14 : Cartes des concentrations moyennes en NO_2 en $\mu\text{g.m}^{-3}$ à Ajaccio le 12/09/2021 pour le scenario de référence (A) et pour les scenarii SECA(B) puis SECA + CENAQ + 1 GNL (C).

Le constat est inversé ici concernant le NO_2 , une réduction plus ou moins importante est observée avec le respect de la norme SECA, puis l'ajout du CENAQ et le remplacement du navire « A Nepita » par le « A Galleota », nouveau navire au GNL de la Corsica Linea.

Toutefois, les hypothèses de base étant similaires au cas précédent, l'étude ne pourra porter un jugement plus abouti sur les résultats de la modélisation, les éléments de calculs sur les effets de bords étant encore à confirmer.

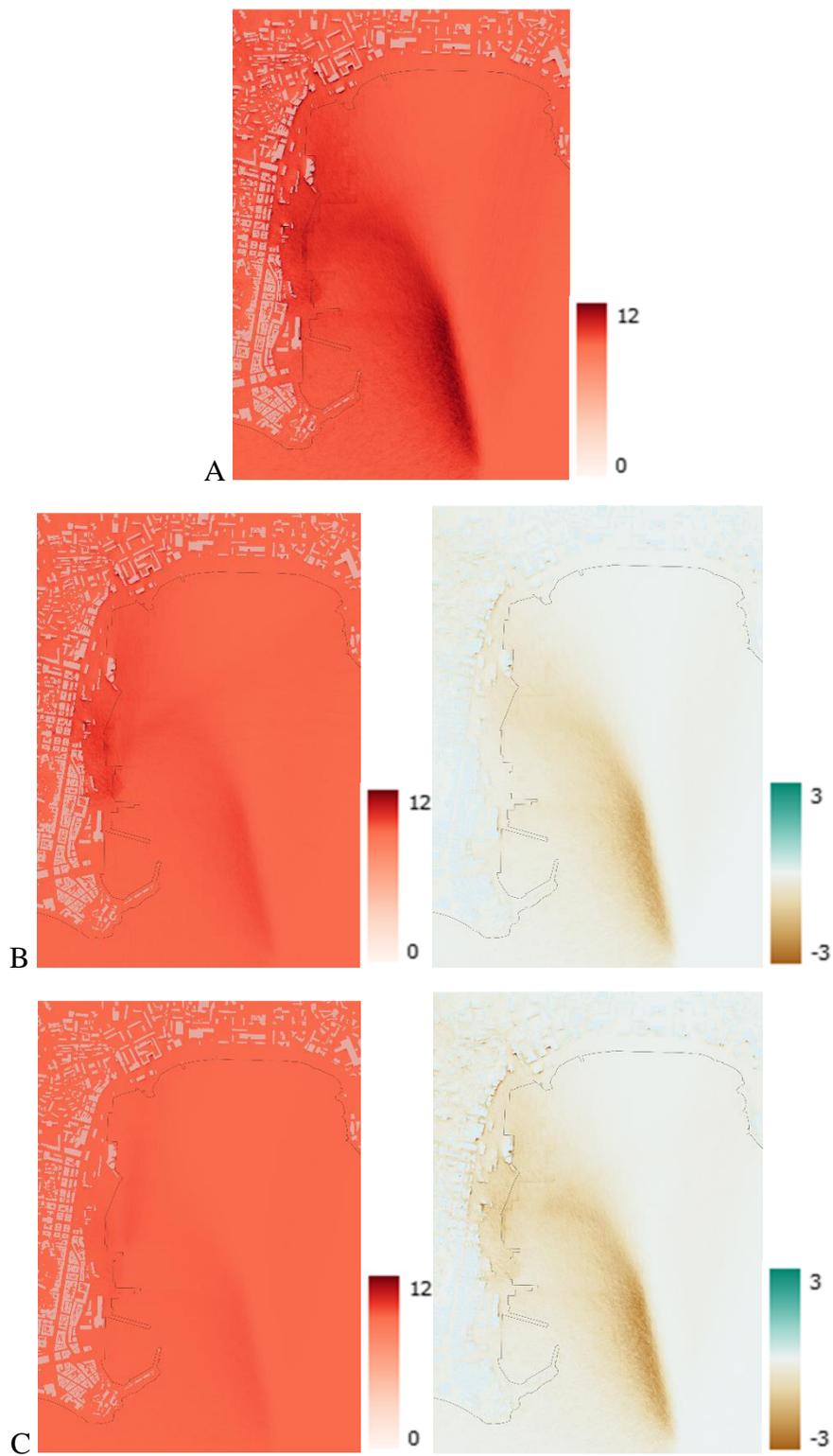


Figure 15 : Cartes des concentrations moyennes en $PM_{2.5}$ en $\mu g.m^{-3}$ à Ajaccio le 12/09/2021 pour le scenario de référence (A) et pour les scenarii SECA(B) puis SECA + CENAQ + 1 GNL (C).

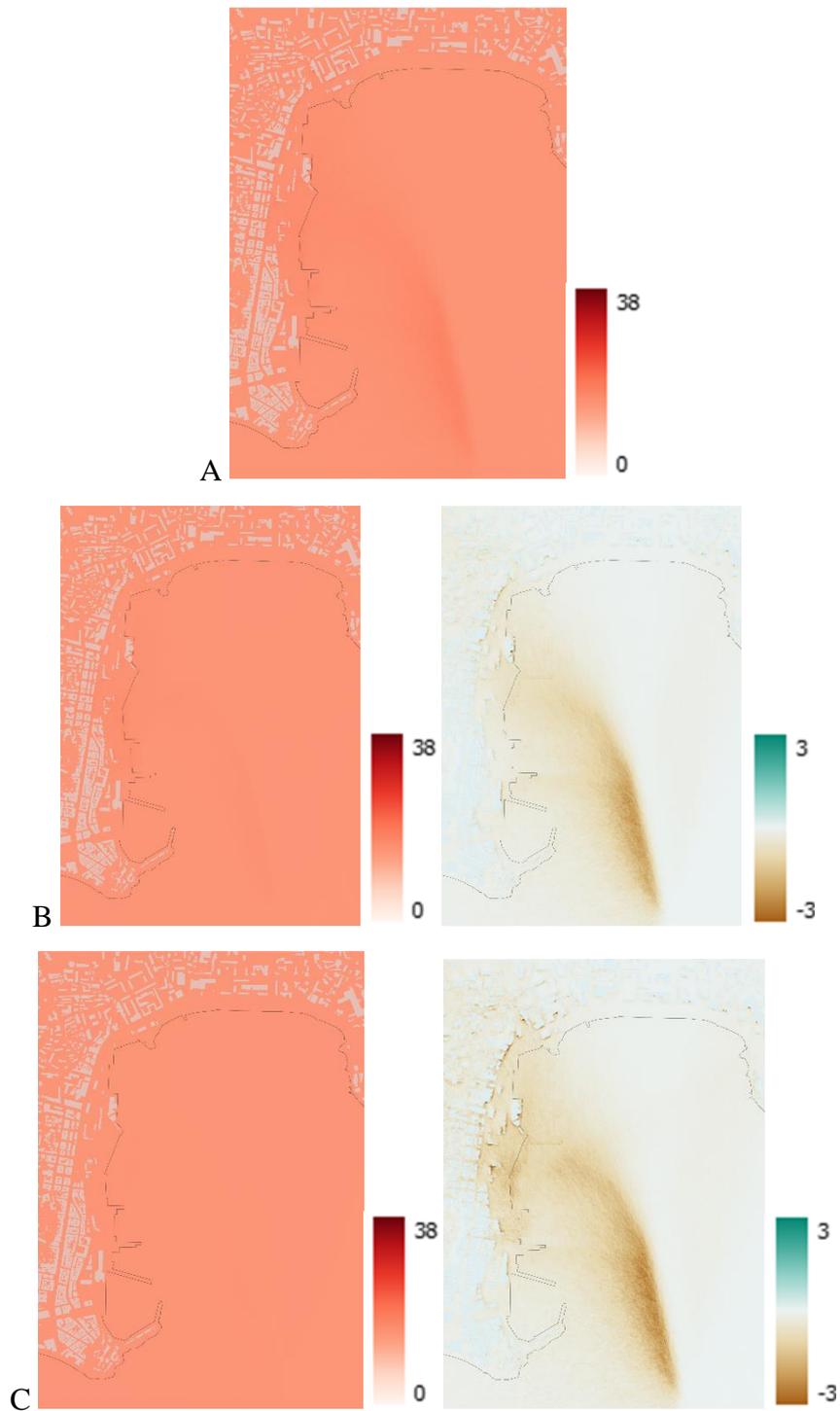


Figure 16 : Cartes des concentrations moyennes en PM_{10} en $\mu g.m^{-3}$ à Ajaccio le 12/09/2021 pour le scenario de référence (A) et pour les scenarii SECA(B) puis SECA + CENAQ + 1 GNL (C).

2.1.2 Port de Bastia

Les cartes de concentrations simulées avec fond pour la journée du 27/08/2021 sur Bastia. Les cartes situées du côté droit montrent les différences de concentration entre les scenarii et la référence.

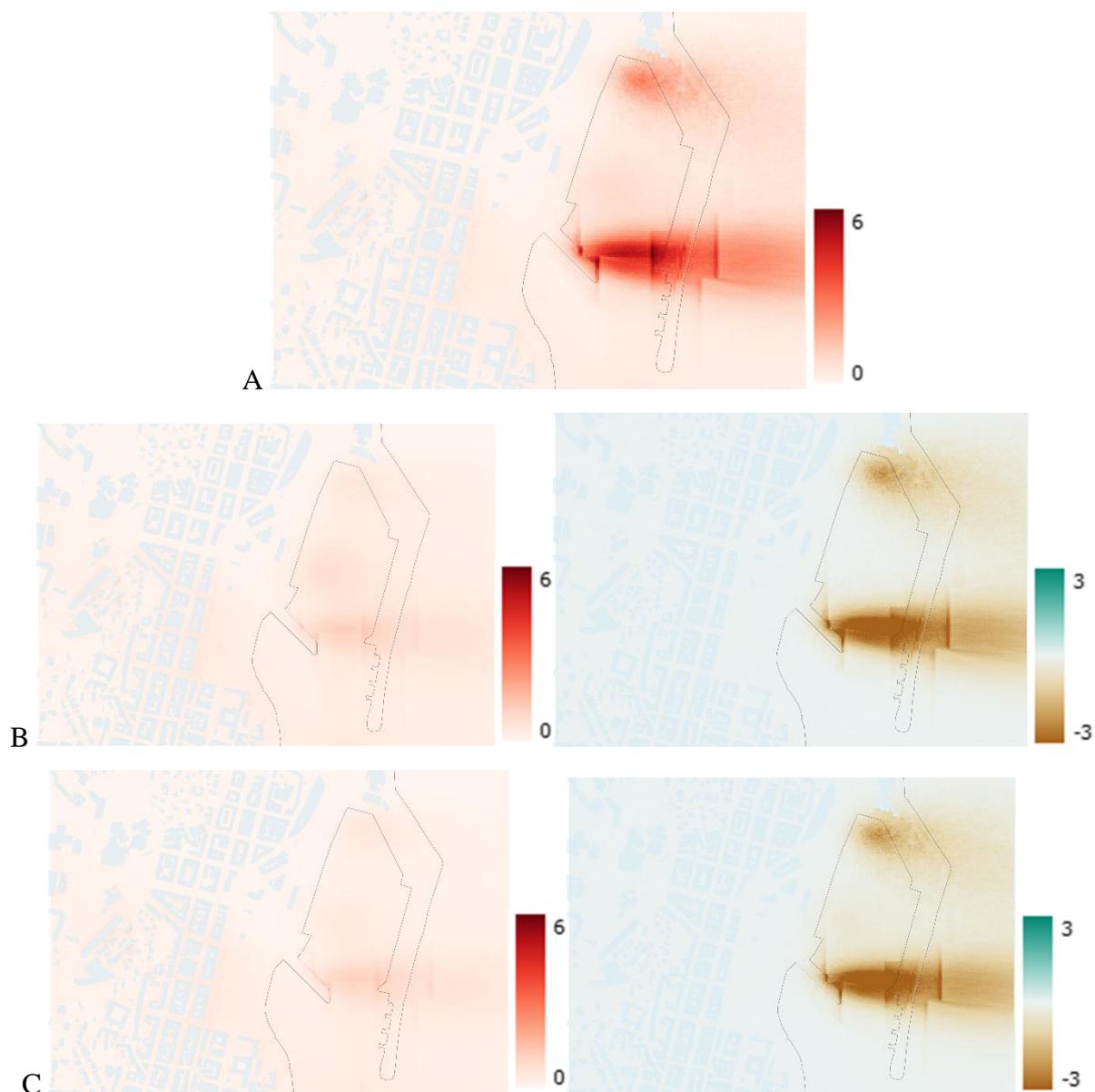


Figure 17 : Cartes des concentrations moyennes en SO₂ en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ à Bastia le 27/08/2021 pour le scenario de référence (A) et pour les scenarii SECA(B) puis SECA + CENAQ (C).

Une baisse de SO₂ est nettement visible respectivement sur la phase manœuvre (B) mais pas davantage à quai (C). Cela est dû au fait que le CENAQ n'est pas applicable à tous les navires dans ce cas précis, les escales étant trop courtes, et que la quantité de SO₂ n'est pas significative.

A noter également que le vent emmène les panaches vers la mer, réduisant ainsi l'impact sur la ville. Les réductions de concentrations des polluants ne concerneront donc pas la ville qui aura le même niveau de fond de pollution, celui-ci n'étant pas causé principalement par le maritime sur cette journée.

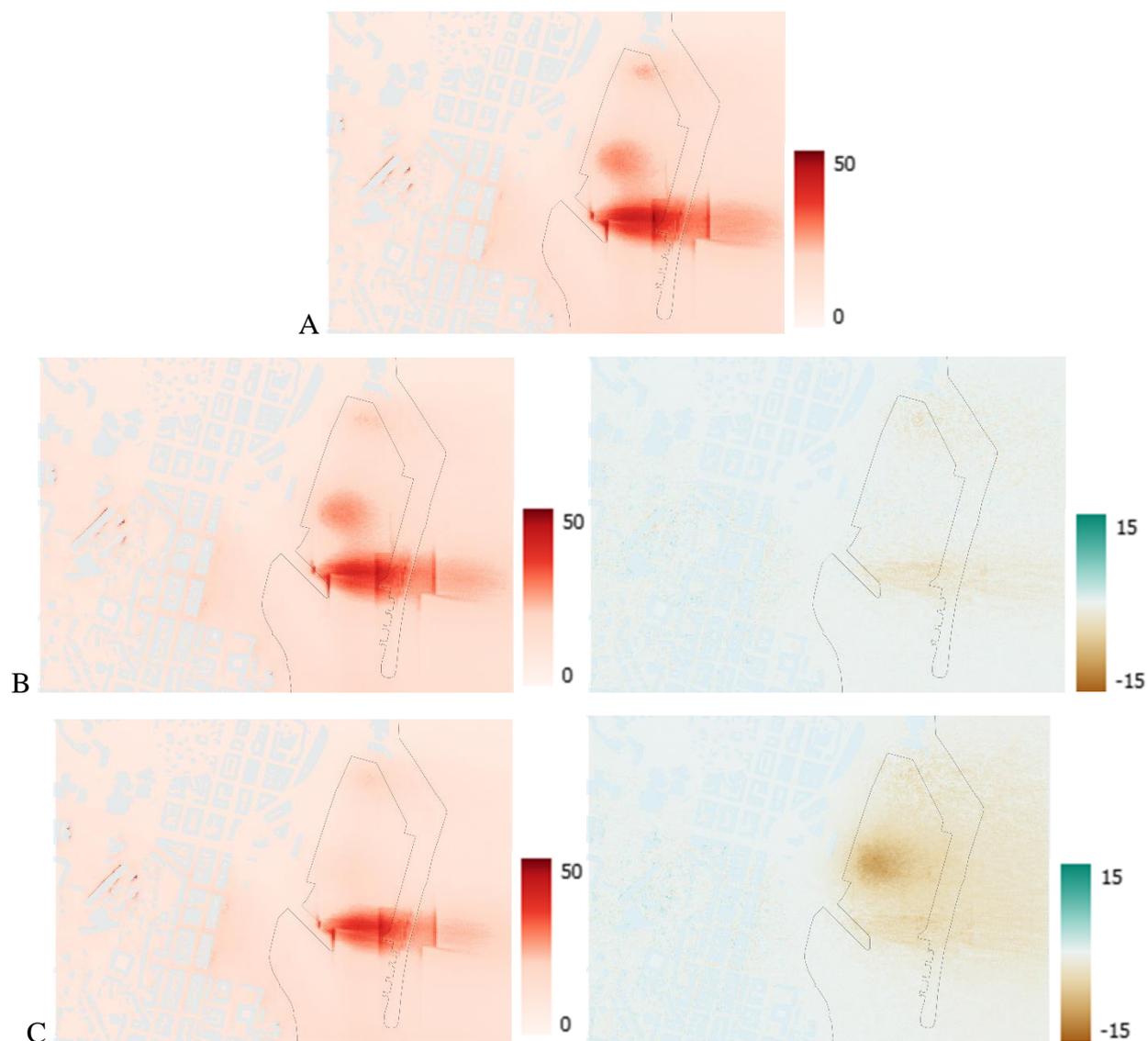


Figure 18 : Cartes des concentrations moyennes en NO₂ en µg.m⁻³ à Bastia le 27/08/2021 pour le scenario de référence (A) et pour les scenarii SECA(B) puis SECA + CENAQ (C).

Même constat pour le NO₂ bien que le gain soit plus important sur la partie avec CENAQ. La pollution semble stagner au niveau de l'enceinte du port, mais a tendance à rejoindre la mer aussi. L'impact positif sur la ville est négligeable car le facteur vent est à nouveau le facteur déterminant.

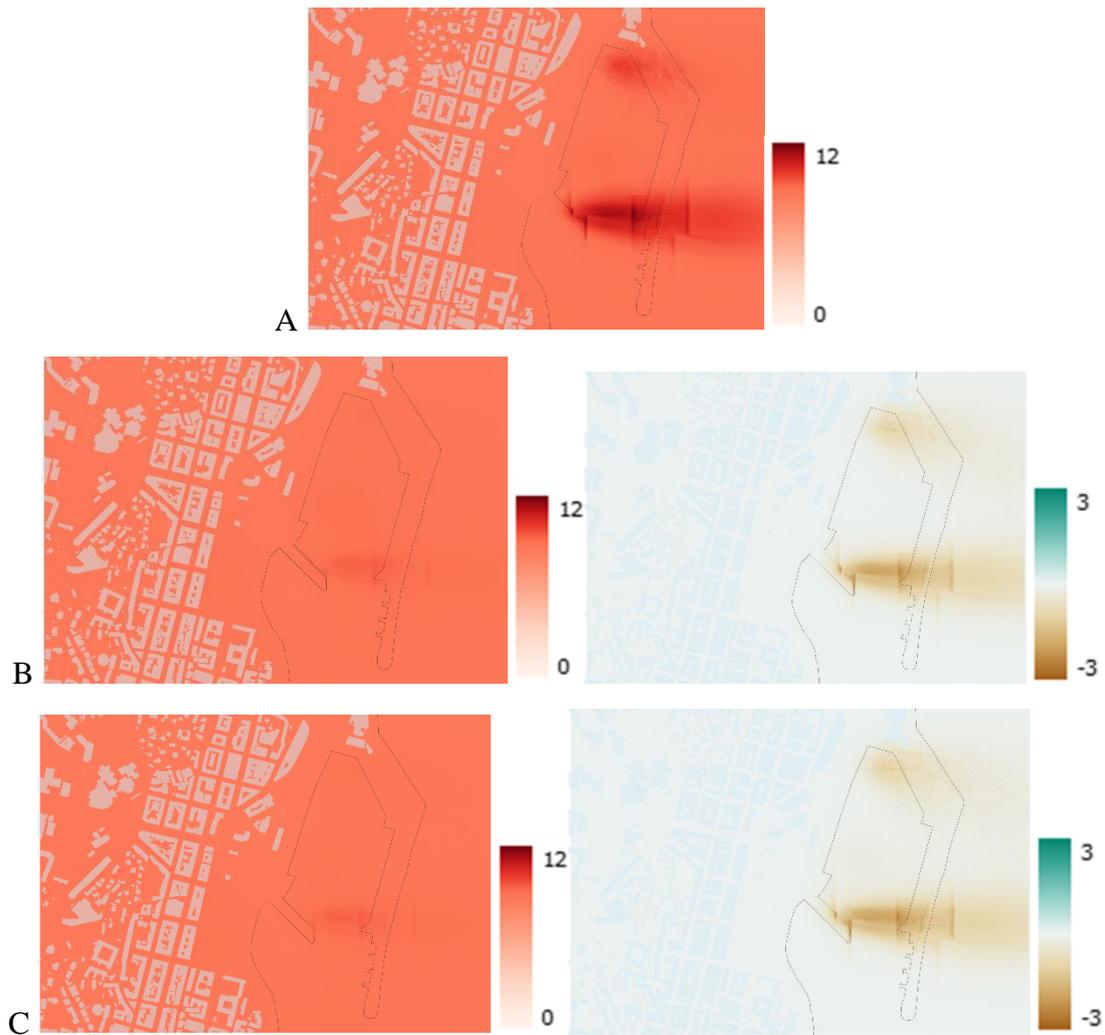


Figure 19 : Cartes des concentrations moyennes en $PM_{2.5}$ en $\mu g.m^{-3}$ à Bastia le 27/08/2021 pour le scenario de référence (A) et pour les scenarii SECA(B) puis SECA + CENAQ (C).

Il s'agit ici à nouveau d'une pollution de fond plus que d'une pollution exclusivement maritime. La baisse au niveau du port est présente, mais n'a aucun effet sur la ville, le vent évacuant les particules fines vers le large.

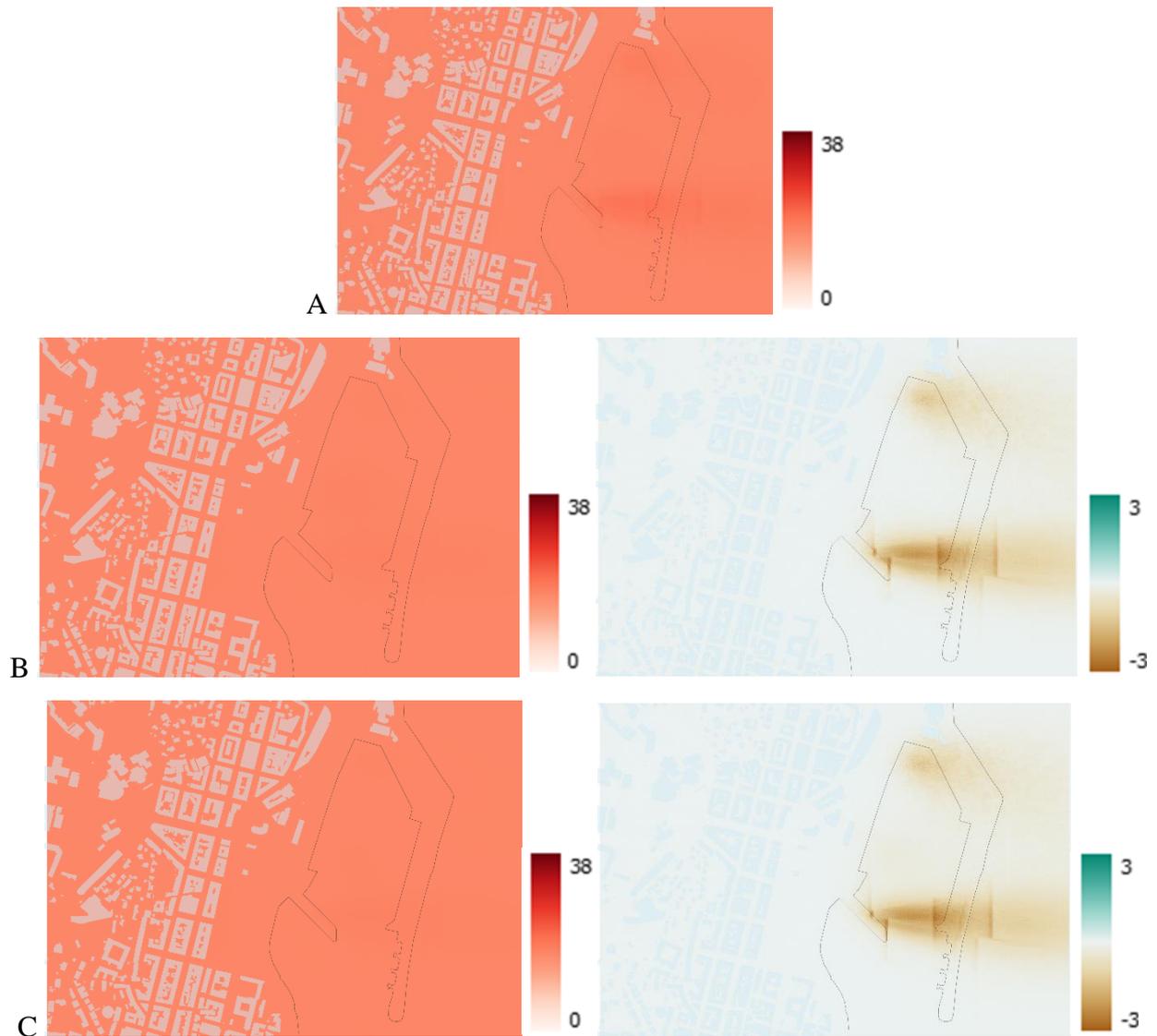


Figure 20 : Cartes des concentrations moyennes en PM₁₀ en $\mu\text{g.m}^{-3}$ à Bastia le 27/08/2021 pour le scenario de référence (A) et pour les scenarii SECA(B) puis SECA + CENAQ (C).

Il s'agit ici à nouveau d'une pollution de fond plus que d'une pollution exclusivement maritime. La baisse au niveau du port est présente, mais n'a aucun effet sur la ville, le vent évacuant les particules fines vers le large.

Les cartes de concentrations simulées avec fond pour la journée du 14/07/2021 sur Bastia. Les cartes situées du côté droit montrent les différences de concentration entre les scenarii et la référence.

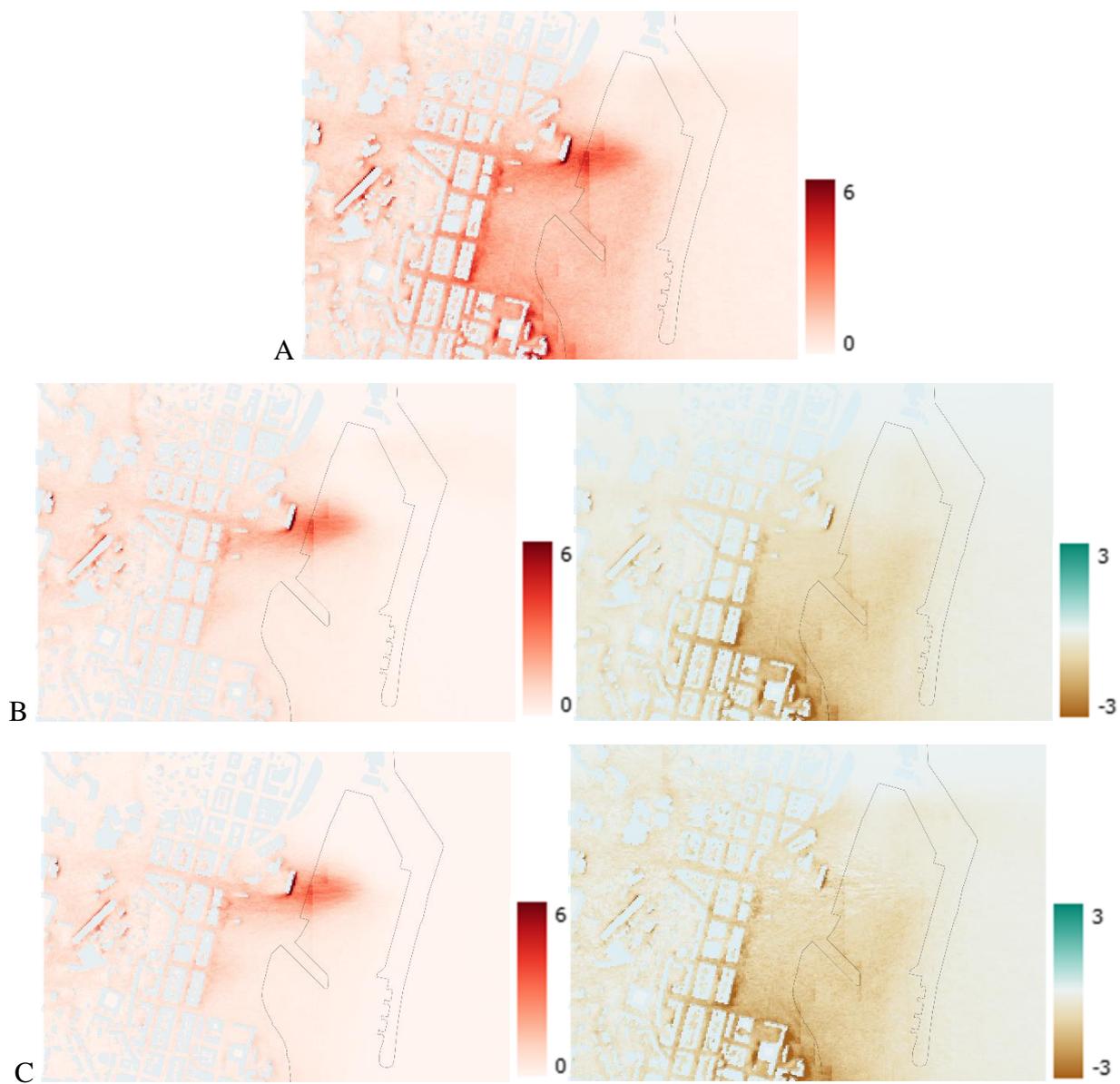


Figure 21 : Cartes des concentrations moyennes en SO_2 en $\mu\text{g.m}^{-3}$ à Bastia le 14/07/2021 pour le scenario de référence (A) et pour les scenarii SECA(B) puis SECA + CENAQ + 1GNL (C).

Cette journée s'avère beaucoup plus intéressante à étudier car le vent dirige la pollution vers la ville. L'étude permet de mettre en évidence une zone de concentration forte à proximité du port et des premiers bâtis interférant avec le vent. La réduction est assez importante sur le SO_2 et à proximité immédiate du port.

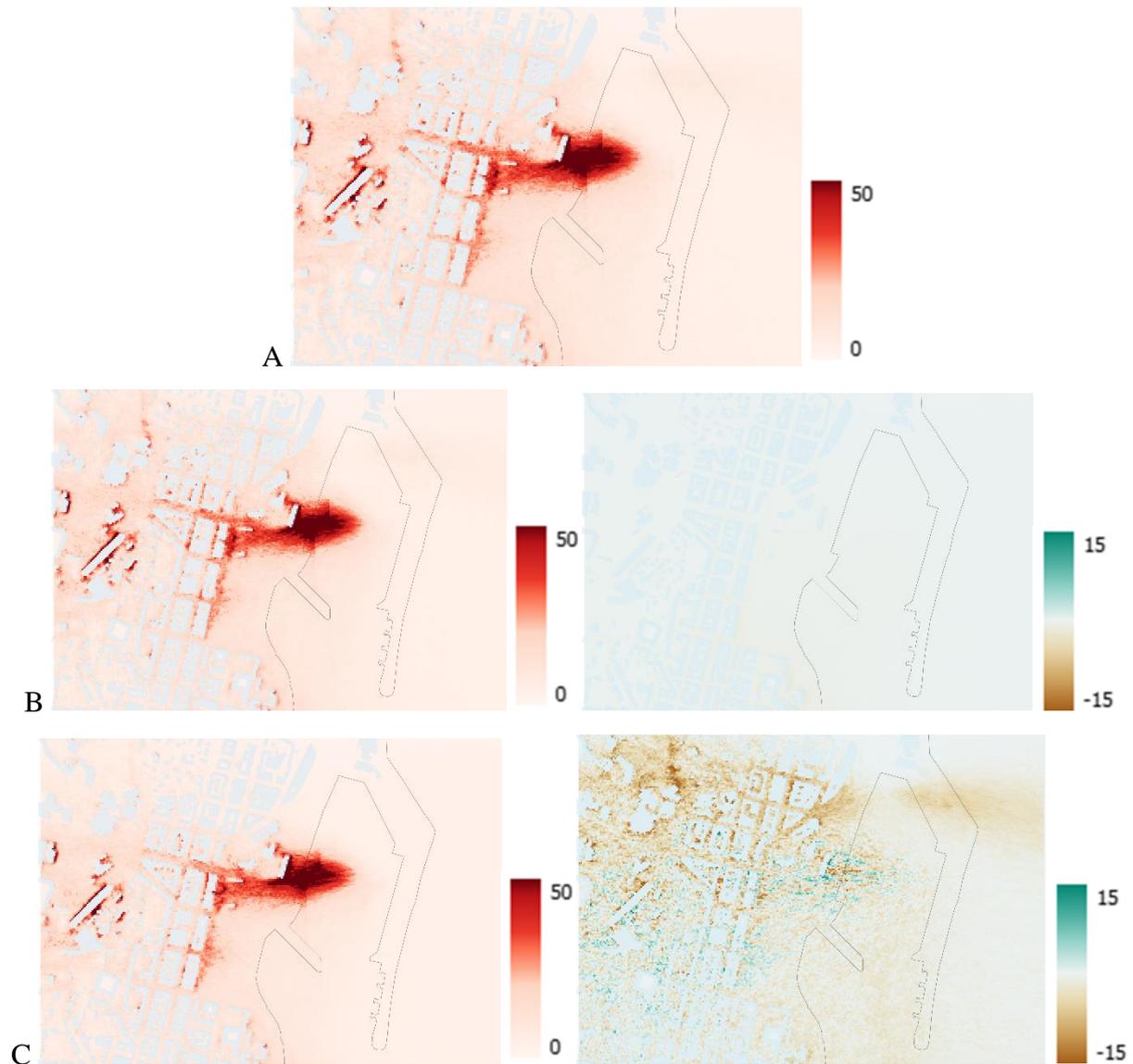


Figure 22 : Cartes des concentrations moyennes en NO₂ en µg.m⁻³ à Bastia le 14/07/2021 pour le scenario de référence (A) et pour les scenarii SECA(B) puis SECA + CENAQ + 1GNL (C).

Le vent joue le même rôle de diffuseur de pollution sur ces cartes, avec sur la phase stationnement avec CENAQ une nette diminution sur la partie nord de la ville, mais une augmentation sur la partie sud. A nouveau, il semblerait que les effets de bords numériques en soient la cause, le logiciel traitant différemment le polluant NO₂.

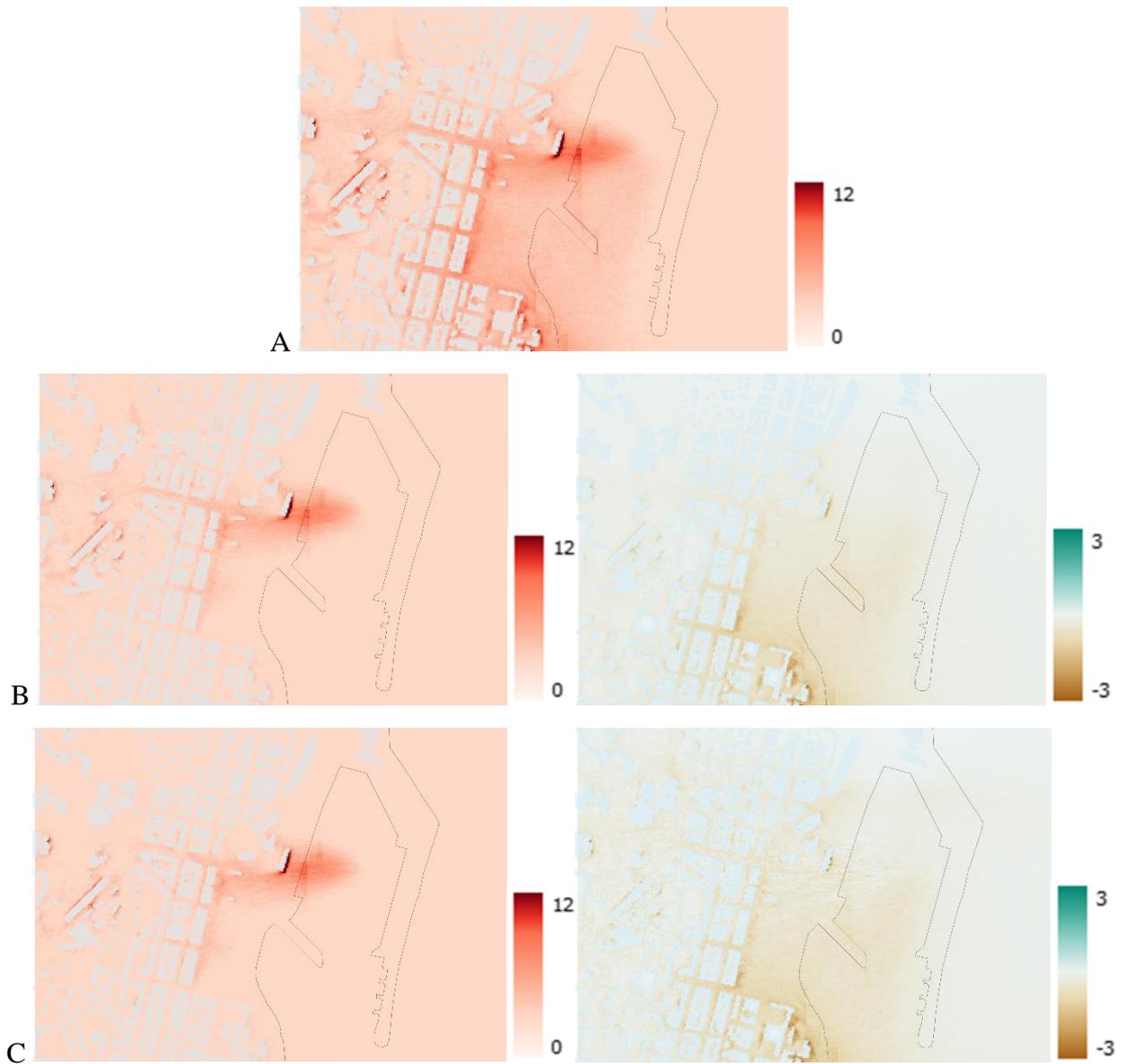


Figure 23 : Cartes des concentrations moyennes en PM_{2.5} en µg.m⁻³ à Bastia le 14/07/2021 pour le scenario de référence (A) et pour les scenarii SECA(B) puis SECA + CENAQ + 1GNL (C).

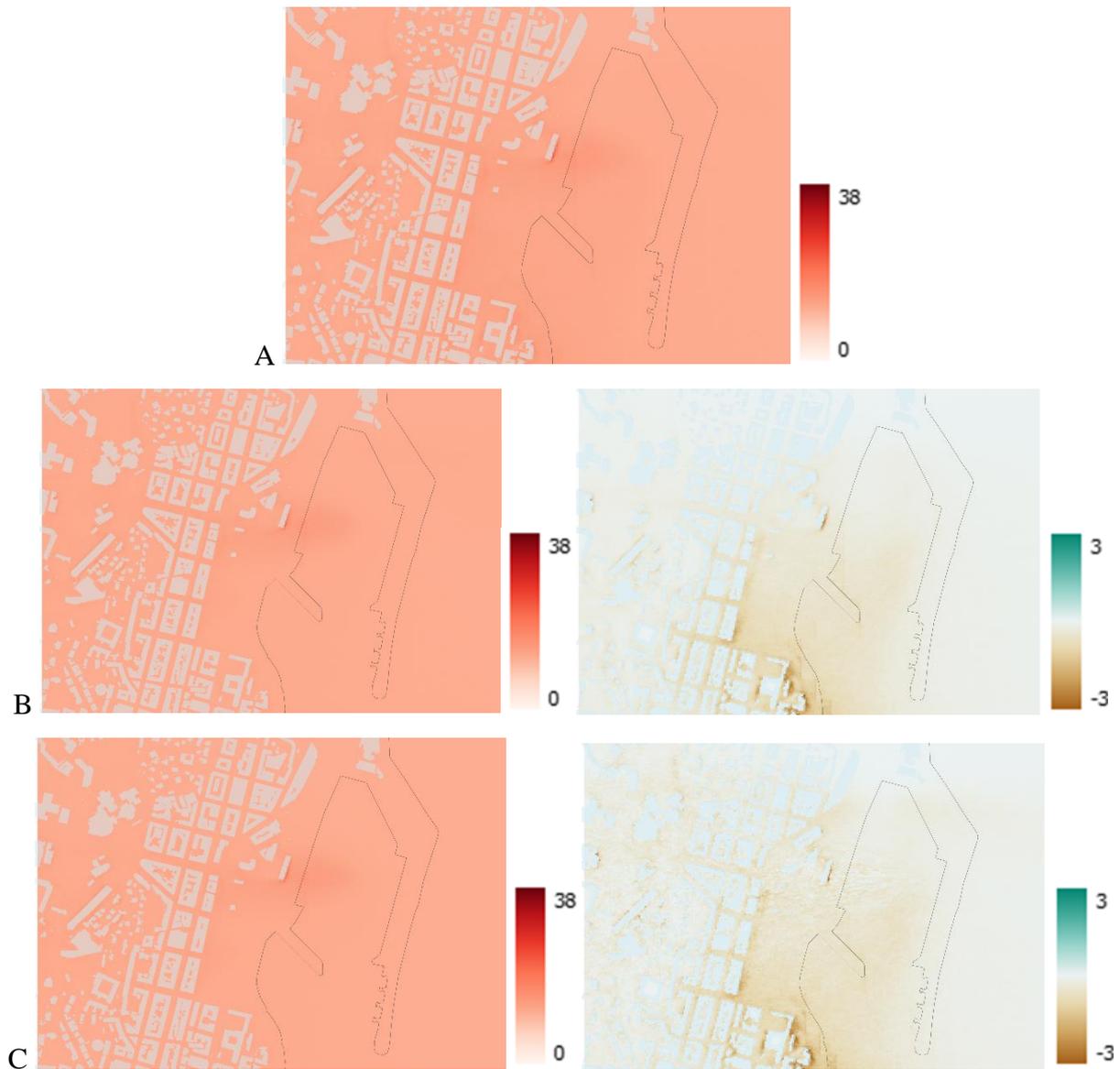


Figure 24 : Cartes des concentrations moyennes en PM_{10} en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ à Bastia le 14/07/2021 pour le scenario de référence (A) et pour les scenarii SECA(B) puis SECA + CENAQ + 1GNL (C).

La différence est négligeable sur la réduction des particules fines, la contribution du maritime sur ce polluant étant moindre à la base.

2.2 Box-plots des concentrations en zone terrestre

Ajaccio 15/09/2021

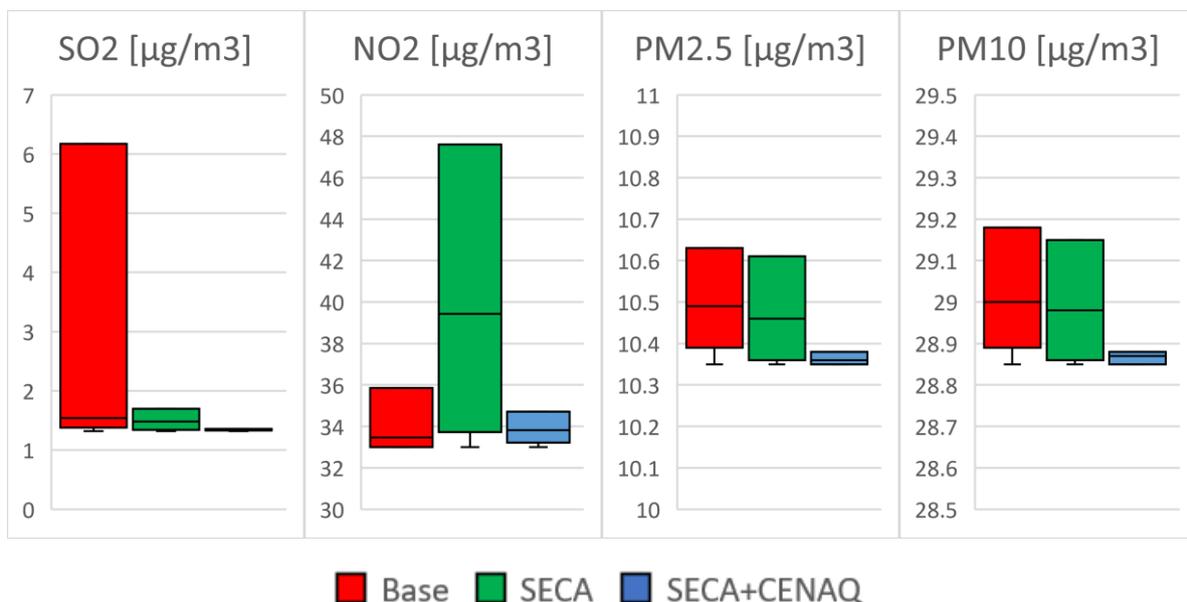


Figure 25 : Boxplot des concentrations avec fond uniquement sur terre (Ajaccio)

Les résultats des modélisations précédemment observées se retrouvent à nouveau dans le calcul des boxplots, notamment au niveau du NO_2 dont les valeurs ne sont pas recevables d'un point de vue scientifique, accusant une forte hausse sur des scénarii SECA dont les émissions de NO_2 ont été calculées à la baisse dans le chapitre 1. La tendance sur les autres polluants est en revanche bien confirmée à la baisse, quoique négligeable au niveau des PM, mais particulièrement intéressante sur le SO_2 .

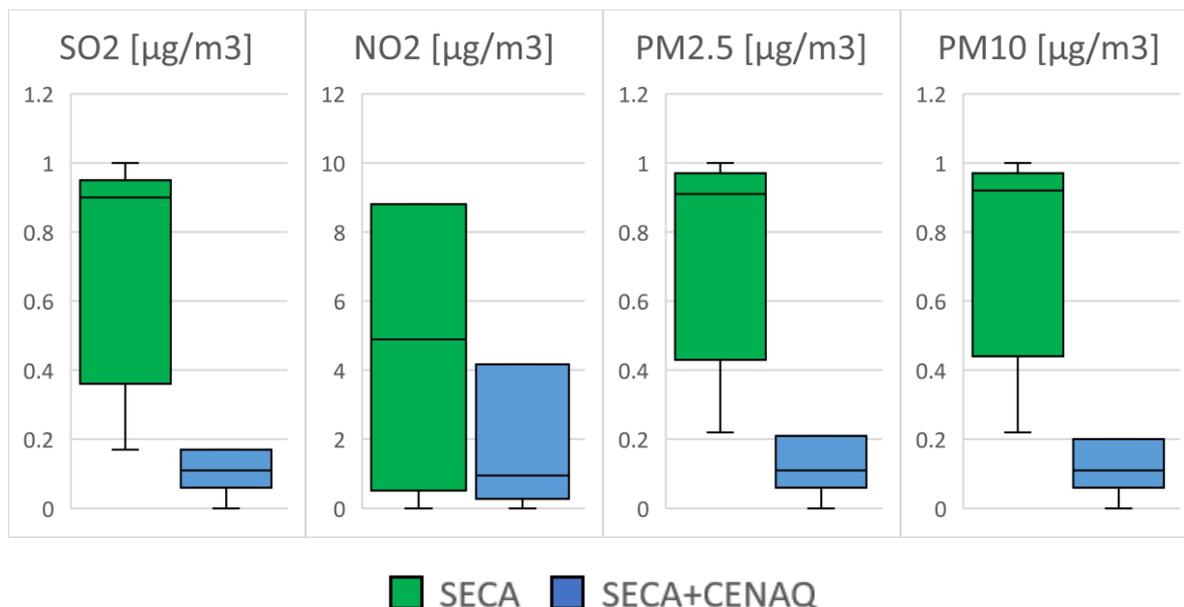


Figure 26 : Boxplot ratio des concentrations scenarii/ref sans le fond uniquement sur terre (Ajaccio)

Un ratio supérieur à 1 indique une augmentation des polluants, et inversement.

Ajaccio 12/09/2021

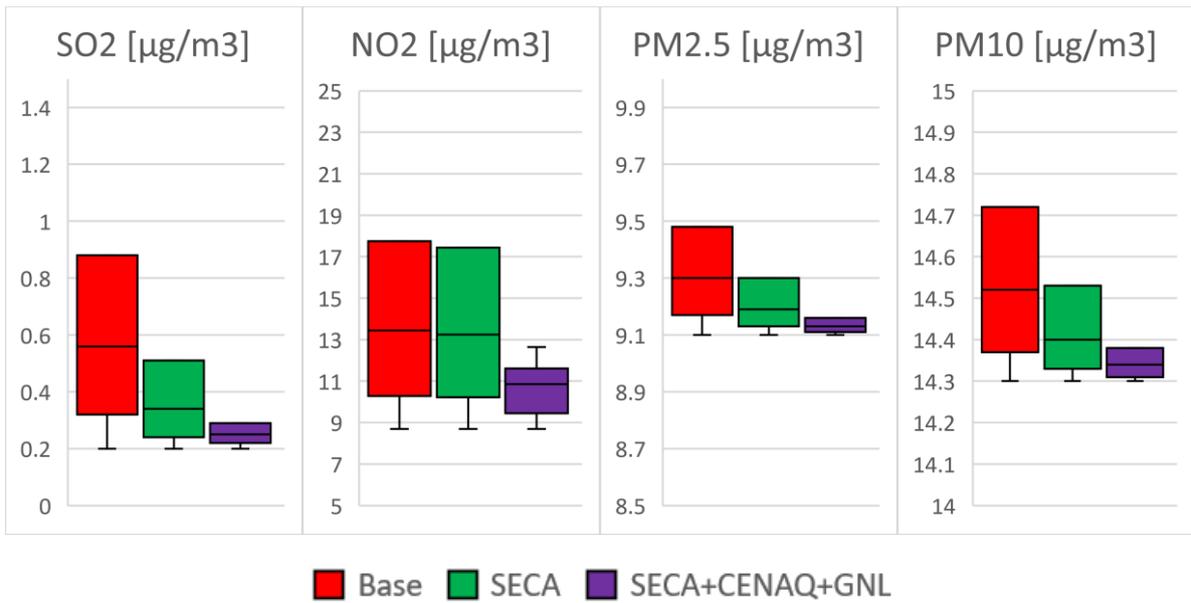


Figure 27 : Boxplot des concentrations avec fond uniquement sur terre (Ajaccio)

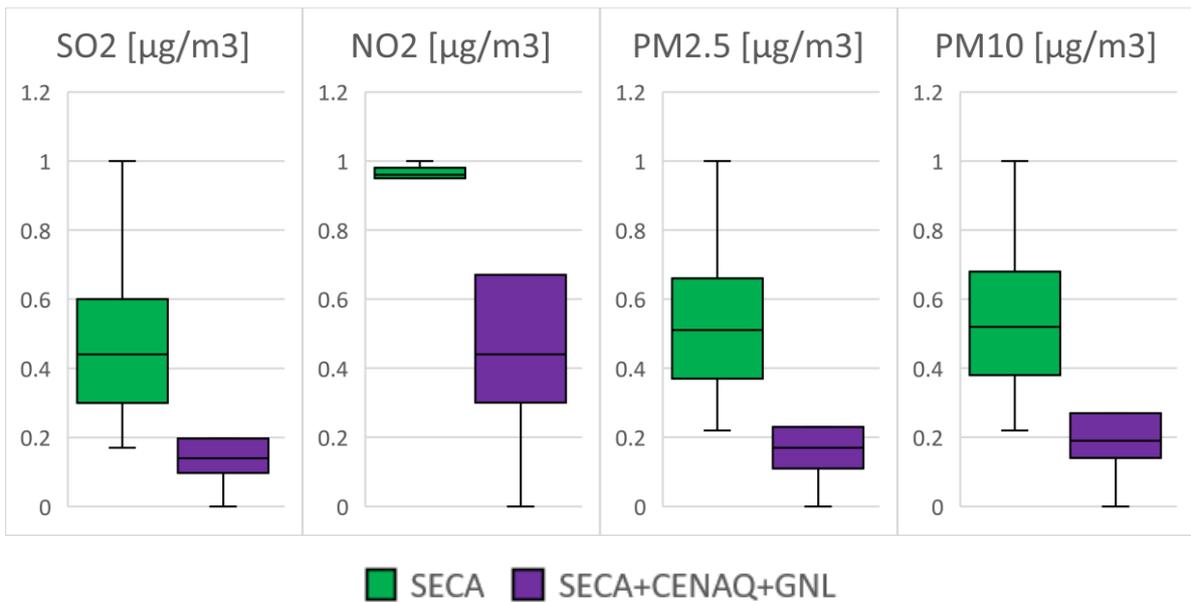


Figure 28 : Boxplot ratio des concentrations scenarii/ref sans le fond uniquement sur terre (Ajaccio)

Bastia 27/08/2021

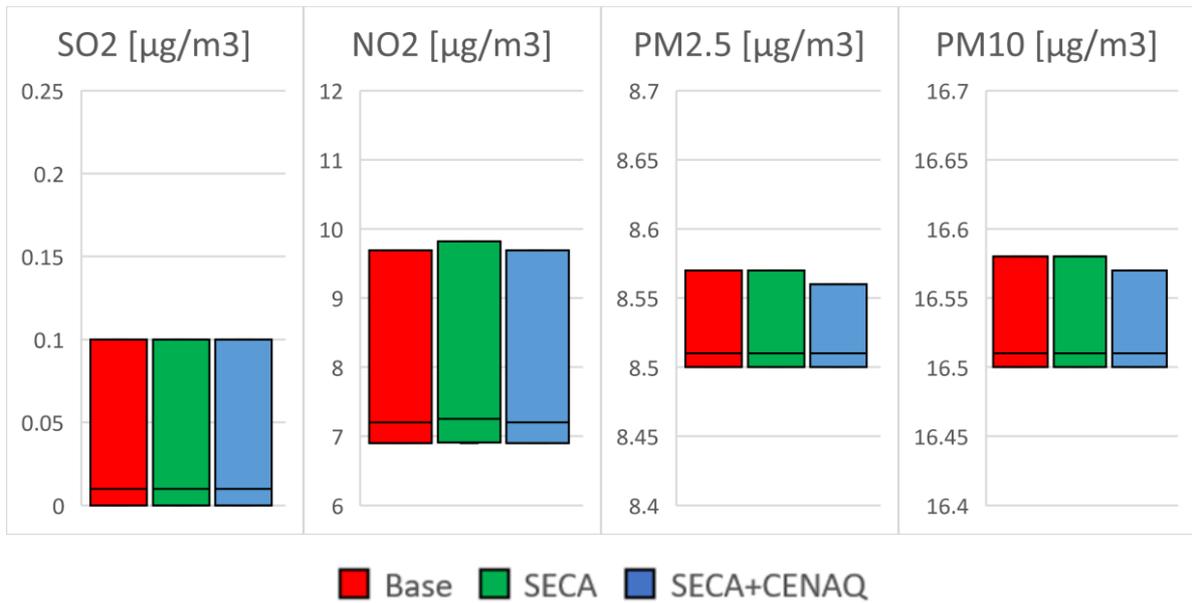


Figure 29 : Boxplot des concentrations avec fond uniquement sur terre (Bastia)

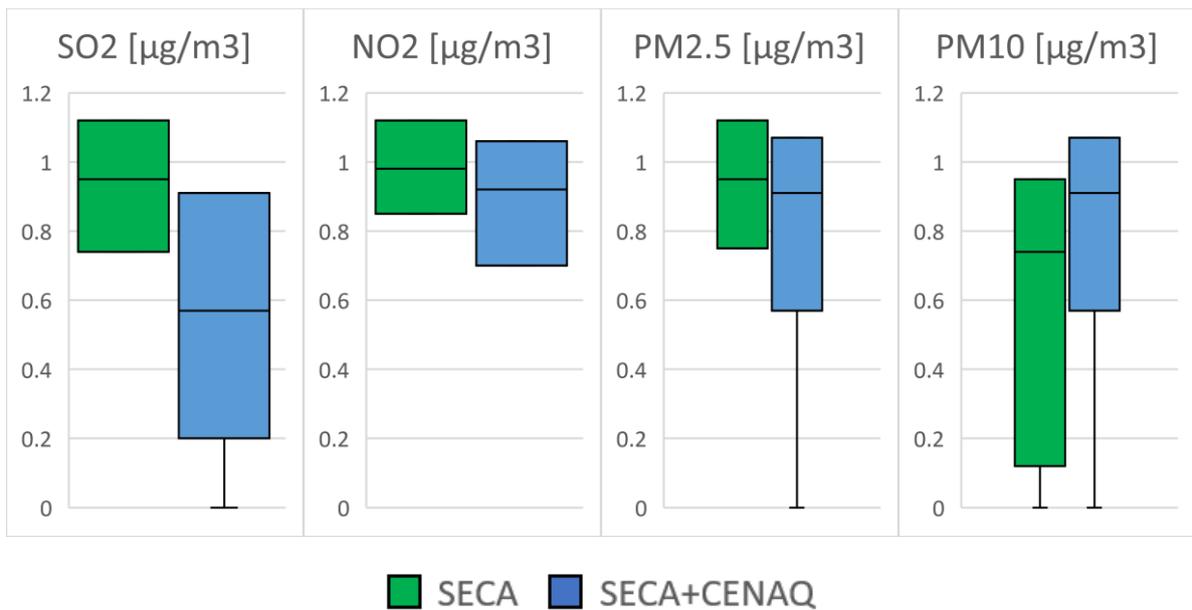


Figure 30 : Boxplot ratio des concentrations scenarii/ref sans le fond uniquement sur terre (Bastia)

Bastia 14/07/2021

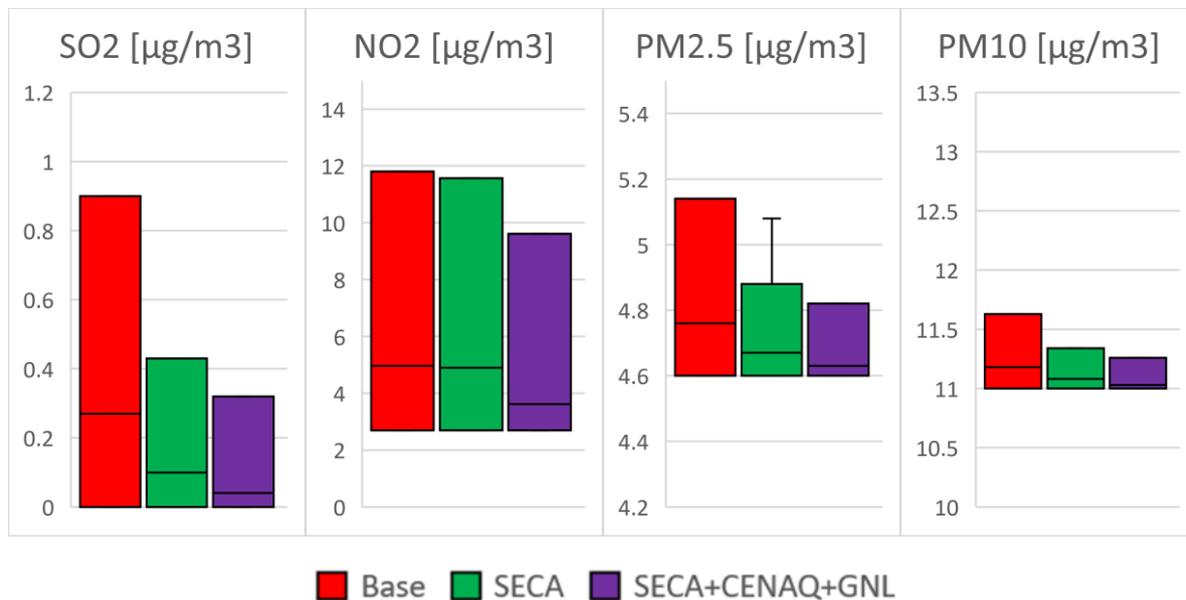


Figure 31 : Boxplot des concentrations avec fond uniquement sur terre (Bastia)

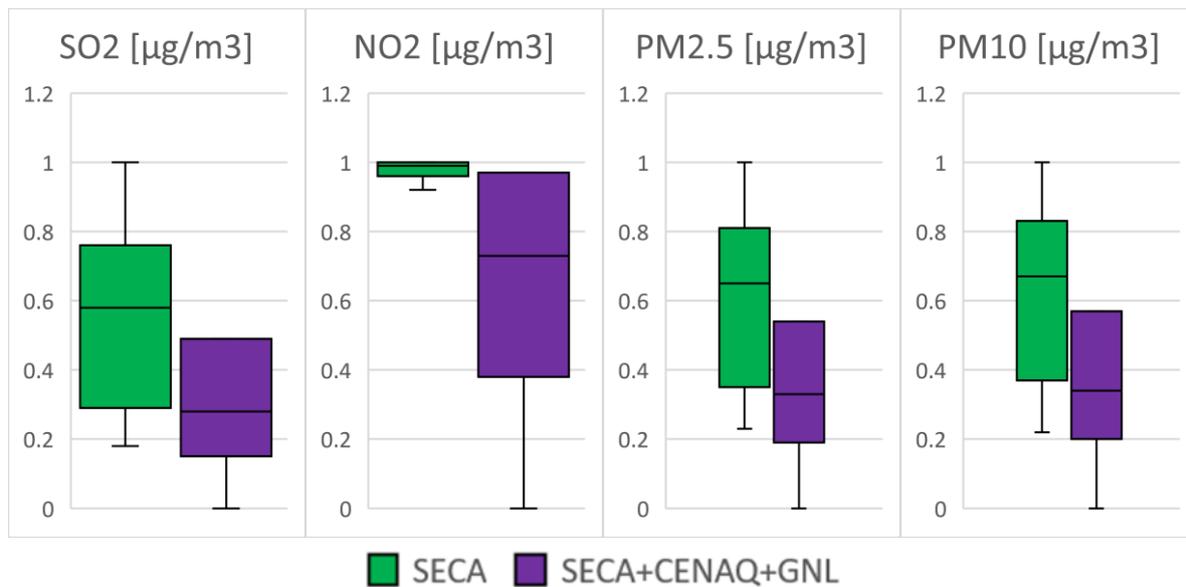


Figure 32 : Boxplot ratio des concentrations scenarii/ref sans le fond uniquement sur terre (Bastia)

La tendance générale montre une baisse pour tous les polluants.

2.3 Bilan statistique

Pour quantifier la réduction des concentrations induite dans chacun des scénarii, on définit le pourcentage de réduction R comme :

$$R = \frac{p_{\text{ref}} - p_{\text{scn}}}{p_{\text{ref}}} \cdot 100 \%$$

où p_{ref} est le 90^{ème} percentile des concentrations moyennes du scénario de référence sans le fond, et p_{scn} est le 90^{ème} percentile des concentrations moyennes du scénario de variation des émissions sans le fond. Avec cette statistique, on choisit de quantifier les variations des concentrations des panaches uniquement, pour deux raisons : (i) parce que l'impact dû à la réactivité chimique de ces variations sur les concentrations de fond n'est pas évalué ; (ii) pour éviter que cette évaluation ne soit biaisée par une surestimation ou une sous-estimation des concentrations des panaches, par rapport à la concentration de fond, comme c'est le cas dans certaines simulations. Le jeu de données utilisé comprend les concentrations du domaine complet, sur terre comme sur mer, qui affectent les populations riveraines mais également les personnes qui se trouvent sur les navires.

AJACCIO	15/09/2021		12/09/2021	
	SECA	SECA + CENAQ	SECA	SECA + CENAQ + GNL
SO2	8%	89%	51%	86%
NO2	-271%	57%	3%	59%
PM2.5	6%	90%	45%	84%
PM10	5%	89%	43%	81%

Tableau 19 : Réduction des concentrations des panaches à Ajaccio pour les différents scénarii avec comme référence le scénario base

Bastia	27/08/2021		14/07/2021	
	SECA	SECA + CENAQ	SECA	SECA + CENAQ + GNL
SO2	12%	20%	58%	64%
NO2	3%	58%	1%	89%
PM2.5	12%	24%	51%	57%
PM10	12%	21%	48%	54%

Tableau 20 : Réduction des concentrations des panaches à Bastia pour les différents scénarii avec comme référence le scénario base

Conclusion

Il est nécessaire de souligner que les calculs effectués pour les émissions de navires ont été réalisés uniquement à partir des données disponibles pour les navires connus dans les ports de Bastia et d'Ajaccio. Par conséquent, les résultats et les scénarios proposés doivent être interprétés en gardant à l'esprit cette limitation.

Ils fournissent néanmoins une estimation solide de l'impact des émissions de navires sur la qualité de l'air dans ces zones, ainsi que de l'efficacité potentielle des mesures de mitigation proposées en termes d'émission.

La modélisation de la qualité de l'air sur les ports de Bastia et d'Ajaccio met en évidence l'impact significatif des émissions des navires sur la qualité de l'air locale. Les résultats montrent que les mesures de réduction des émissions, en particulier la mise en place de la Connection Electrique des Navires à Quai (CENAQ), ont un impact significatif sur la réduction des émissions de SO₂ et de NO₂, mais moins sur les PM_{2.5}. Cependant, les résultats peuvent varier en fonction de la saison et de la durée d'escale des navires, notamment en été où les escales sont plus nombreuses et plus brèves.

Cette étude souligne l'importance de prendre en compte les émissions des navires dans les politiques de gestion de la qualité de l'air urbaine, en particulier en zone insulaire où les impacts peuvent être plus importants. Les résultats de cette étude pourront être utiles aux autorités portuaires et aux décideurs locaux pour prendre des mesures adaptées et efficaces afin de réduire les émissions des navires et améliorer la qualité de l'air à proximité des ports de Bastia et d'Ajaccio.

Cependant, cette étude présente également certaines incertitudes de mesure. En effet, la calibration des modèles a été réalisée en utilisant des stations de mesure urbaines multi influencées, qui sont souvent situées à distance de l'axe de vent des panaches des navires (cf. Rapport T1.3.1 et T2.3.1). Par conséquent, les résultats peuvent présenter une certaine marge d'erreur en raison de l'impact de la dispersion des émissions de navires sur la qualité de l'air.

Malgré ces incertitudes, une estimation précieuse des impacts des émissions des navires sur la qualité de l'air dans les ports de Bastia et d'Ajaccio a pu sortir de cette étude, ainsi que de l'efficacité des mesures de mitigation proposées. Ces résultats pourront être utilisés pour orienter les futures campagnes de mesure et d'observation pour affiner et améliorer la précision des modèles utilisés comme il est déjà prévu avec l'installation de nouvelles stations de mesures à proximité des ports et dans l'axe principal des vents.

Annexe 1 – Tableau des émissions des scenarii AER NOSTRUM

Polluant	Ville	Phase	BASE	CENAQ	SECA	GNL	CENAQ + SECA	CENAQ + 1 GNL	Rempla 1 GNL	SECA + 1 GNL	Diff		
Dioxyde de carbone (CO2) Méthane (CH4) Monoxyde de carbone (CO) Oxydes d'azote (NO + NO2) Oxydes de soufre (SO2 + SO3) Particules de taille inférieure à 10µm (PM10) Particules de taille inférieure à 2.5µm (PM2.5)	AJA	MANUEVRE	1600,29	1600,29	1505,48	991,64	1505,48	1495,43	1495,43	1416,54	-11%		
			0,15	0,15	0,14	18,46	18,46	18,46	3,39	3,39	3,38	-1%	
			3,80	3,80	3,51	2,82	3,51	2,82	3,63	3,63	3,39	-4%	
			40,67	40,67	37,23	2,82	37,23	2,82	34,05	34,05	31,19	-23%	
			5,44	5,44	0,95	0,01	0,95	0,01	4,49	4,49	4,49	0,78	17%
			3,02	3,02	0,68	0,06	0,68	0,06	2,50	2,50	2,50	0,57	19%
			2,86	2,86	0,64	0,00	0,64	0,00	2,36	2,36	2,36	0,53	19%
			2024,19	2024,19	1936,95	1251,25	1936,95	1251,25	2011,70	2011,70	2011,70	1892,00	-7%
			0,19	0,19	0,18	23,30	0,18	23,30	0,18	0,58	0,58	0,56	-2%
			4,80	4,80	4,52	3,56	4,52	3,56	4,78	4,78	4,78	0,00	0%
			51,45	51,45	47,90	3,56	47,90	3,56	50,66	50,66	50,66	2,76	5%
			6,88	6,88	1,22	0,01	1,22	0,01	6,76	6,76	6,76	1,18	17%
			3,82	3,82	0,87	0,08	0,87	0,08	3,76	3,76	3,76	0,84	22%
			3,62	3,62	0,82	0,00	0,82	0,00	3,56	3,56	3,56	0,80	22%
			12964,59	3347,69	12964,59	7950,79	3347,69	7950,79	3347,69	3105,59	3105,59	11681,82	-10%
1,23	0,32	1,23	148,04	0,32	148,04	0,32	7,46	7,46	38,43	509%			
30,22	7,80	30,22	22,64	7,80	22,64	7,80	7,44	7,44	12,19	162%			
320,59	82,78	320,59	22,64	82,78	22,64	82,78	68,33	68,33	73,22	-7%			
8,18	2,11	8,18	0,06	2,11	0,06	2,11	1,72	1,72	1,73	79%			
5,82	1,50	5,82	0,52	1,50	0,52	1,50	1,25	1,25	1,36	9%			
5,51	1,42	5,51	0,00	1,42	0,00	1,42	1,16	1,16	1,16	-2%			
9501,12	3459,17	9501,12	5838,18	3459,17	5838,18	3459,17	3429,77	3429,77	4416,46	-54%			
0,90	0,33	0,90	108,70	0,33	108,70	0,33	1,19	1,19	1,34	49%			
22,15	8,06	22,15	16,62	8,06	16,62	8,06	8,02	8,02	10,32	28%			
236,94	85,54	236,94	16,62	85,54	16,62	85,54	83,79	83,79	108,12	54%			
5,99	2,18	5,99	0,04	2,18	0,04	2,18	2,13	2,13	2,75	27%			
4,26	1,55	4,26	0,38	1,55	0,38	1,55	1,52	1,52	1,96	26%			
4,04	1,47	4,04	0,00	1,47	0,00	1,47	1,44	1,44	1,86	29%			
14564,88	4947,98	14470,07	8942,43	4947,98	8942,43	4947,98	4601,02	4601,02	6191,87	-57%			
1,38	0,47	1,37	166,50	0,46	166,50	0,46	10,85	10,85	41,81	293%			
34,02	11,60	33,73	25,46	11,31	25,46	11,31	11,07	11,07	15,58	40%			
361,26	123,46	357,81	25,46	120,01	25,46	120,01	102,38	102,38	104,42	-2%			
13,61	7,55	9,13	0,06	3,06	0,06	3,06	6,20	6,20	2,52	-42%			
8,84	4,52	6,50	0,59	2,18	0,59	2,18	3,75	3,75	1,93	-78%			
8,38	4,29	6,15	0,00	2,06	0,00	2,06	3,52	3,52	1,69	-80%			
11525,31	5483,36	11438,07	7089,43	5483,36	7089,43	5483,36	5441,47	5441,47	6308,46	-45%			
1,09	0,52	1,08	132,00	0,51	132,00	0,51	1,77	1,77	1,90	74%			
26,95	12,86	26,66	20,19	12,50	20,19	12,50	12,80	12,80	14,74	45%			
286,39	136,99	282,84	20,19	132,58	20,19	132,58	134,45	134,45	154,46	-46%			
12,87	9,06	7,21	0,05	3,38	0,05	3,38	8,90	8,90	3,93	-69%			
8,09	5,37	5,13	0,46	2,41	0,46	2,41	5,28	5,28	2,80	-65%			
7,66	5,09	4,86	0,00	2,28	0,00	2,28	5,20	5,20	2,65	-44%			
1604,60	1604,60	1509,46	1508,62	1509,46	1508,62	1509,46	1590,37	1590,37	1511,21	-6%			
12998,90	3356,55	12998,90	12095,88	3356,55	12095,88	3356,55	3314,52	3314,52	5851,44	-55%			
14603,50	4961,14	14603,50	13604,51	4961,14	13604,51	4961,14	4904,89	4904,89	7362,65	-50%			
2029,64	2029,64	1942,07	1907,61	2029,64	1907,61	2029,64	2027,83	2027,83	1907,72	-6%			
9526,26	3468,32	9526,26	8881,88	3468,32	8881,88	3468,32	3463,11	3463,11	4453,90	-53%			
11555,90	5497,96	11468,34	10785,46	5497,96	10785,46	5497,96	5490,94	5490,94	6361,63	-45%			
Dioxyde de carbone (CO2) Méthane (CH4) Monoxyde de carbone (CO) Oxydes d'azote (NO + NO2) Oxydes de soufre (SO2 + SO3) Particules de taille inférieure à 10µm (PM10) Particules de taille inférieure à 2.5µm (PM2.5)	AJA	MANUEVRE	1600,29	1600,29	1505,48	991,64	1505,48	1495,43	1495,43	1416,54	-11%		
			0,15	0,15	0,14	18,46	18,46	18,46	3,39	3,39	3,38	-1%	
			3,80	3,80	3,51	2,82	3,51	2,82	3,63	3,63	3,39	-4%	
			40,67	40,67	37,23	2,82	37,23	2,82	34,05	34,05	31,19	-23%	
			5,44	5,44	0,95	0,01	0,95	0,01	4,49	4,49	4,49	0,78	17%
			3,02	3,02	0,68	0,06	0,68	0,06	2,50	2,50	2,50	0,57	19%
			2,86	2,86	0,64	0,00	0,64	0,00	2,36	2,36	2,36	0,53	19%
			2024,19	2024,19	1936,95	1251,25	1936,95	1251,25	2011,70	2011,70	2011,70	1892,00	-7%
			0,19	0,19	0,18	23,30	0,18	23,30	0,18	0,58	0,58	0,56	-2%
			4,80	4,80	4,52	3,56	4,52	3,56	4,78	4,78	4,78	0,00	0%
			51,45	51,45	47,90	3,56	47,90	3,56	50,66	50,66	50,66	2,76	5%
			6,88	6,88	1,22	0,01	1,22	0,01	6,76	6,76	6,76	1,18	17%
			3,82	3,82	0,87	0,08	0,87	0,08	3,76	3,76	3,76	0,84	22%
			3,62	3,62	0,82	0,00	0,82	0,00	3,56	3,56	3,56	0,80	22%
			12964,59	3347,69	12964,59	7950,79	3347,69	7950,79	3347,69	3105,59	3105,59	11681,82	-10%
1,23	0,32	1,23	148,04	0,32	148,04	0,32	7,46	7,46	38,43	509%			
30,22	7,80	30,22	22,64	7,80	22,64	7,80	7,44	7,44	12,19	162%			
320,59	82,78	320,59	22,64	82,78	22,64	82,78	68,33	68,33	73,22	-7%			
8,18	2,11	8,18	0,06	2,11	0,06	2,11	1,72	1,72	1,73	79%			
5,82	1,50	5,82	0,52	1,50	0,52	1,50	1,25	1,25	1,36	9%			
5,51	1,42	5,51	0,00	1,42	0,00	1,42	1,16	1,16	1,16	-2%			
9501,12	3459,17	9501,12	5838,18	3459,17	5838,18	3459,17	3429,77	3429,77	4416,46	-54%			
0,90	0,33	0,90	108,70	0,33	108,70	0,33	1,19	1,19	1,34	49%			
22,15	8,06	22,15	16,62	8,06	16,62	8,06	8,02	8,02	10,32	28%			
236,94	85,54	236,94	16,62	85,54	16,62	85,54	83,79	83,79	108,12	54%			
5,99	2,18	5,99	0,04	2,18	0,04	2,18	2,13	2,13	2,75	27%			
4,26	1,55	4,26	0,38	1,55	0,38	1,55	1,52	1,52	1,96	26%			
4,04	1,47	4,04	0,00	1,47	0,00	1,47	1,44	1,44	1,86	29%			
14564,88	4947,98	14470,07	8942,43	4947,98	8942,43	4947,98	4601,02	4601,02	6191,87	-57%			
1,38	0,47	1,37	166,50	0,46	166,50	0,46	10,85	10,85	41,81	293%			
34,02	11,60	33,73	25,46	11,31	25,46	11,31	11,07	11,07	15,58	40%			
361,26	123,46	357,81	25,46	120,01	25,46	120,01	102,38	102,38	104,42	-2%			
13,61	7,55	9,13	0,06	3,06	0,06	3,06	6,20	6,20	2,52	-42%			
8,84	4,52	6,50	0,59	2,18	0,59	2,18	3,75	3,75	1,93	-78%			
8,38	4,29	6,15	0,00	2,06	0,00	2,06	3,52	3,52	1,69	-80%			
11525,31	5483,36	11438,07	7089,43	5483,36	7089,43	5483,36	5441,47	5441,47	6308,46	-45%			
1,09	0,52	1,08	132,00	0,51	132,00	0,51	1,77	1,77	1,90	74%			
26,95	12,86	26,66	20,19	12,50	20,19	12,50	12,80	12,80	14,74	45%			
286,39	136,99	282,84	20,19	132,58	20,19	132,58	134,45	134,45	154,46	-46%			
12,87	9,06	7,21	0,05	3,38	0,05	3,38	8,90	8,90	3,93	-69%			
8,09	5,37	5,13	0,46	2,41	0,46	2,41	5,28	5,28	2,80	-65%			
7,66	5,09	4,86	0,00	2,28	0,00	2,28	5,20	5,20	2,65	-44%			
1604,60	1604,60	1509,46	1508,62	1509,46	1508,62	1509,46	1590,37	1590,37	1511,21	-6%			
12998,90	3356,55	12998,90	12095,88	3356,55	12095,88	3356,55	3314,52	3314,52	5851,44	-55%			
14603,50	4961,14	14603,50	13604,51	4961,14	13604,51	4961,14	4904,89	4904,89	7362,65	-50%			
2029,64	2029,64	1942,07	1907,61	2029,64	1907,61	2029,64	2027,83	2027,83	1907,72	-6%			
9526,26	3468,32	9526,26	8881,88	3468,32	8881,88	3468,32	3463,11	3463,11	4453,90	-53%			
11555,90	5497,96	11468,34	10785,46	5497,96	10785,46	5497,96	5490,94	5490					