



Activité T1.3

Réalisation des campagnes de suivi

Produit T1.3.1

Rapport sur les résultats des campagnes de surveillance

Ajaccio et Bastia – 2021 / 2022

Partenaire Responsable :

Qualitair Corse
Zone de Lergie, RT50
20250 Corte, France

Auteur :

Amaury ARLOTTO

Date :

Novembre 2022

La cooperazione al cuore del Mediterraneo

La coopération au cœur de la Méditerranée



Table des matières

Introduction	7
I. Campagnes de mesures Ajaccio et Bastia	8
I.1 Ajaccio	9
I.2 Bastia	11
II. Stations Météo	13
III. Données Maritimes	18
IV. Paramètres surveillés	20
IV.1 Moyennes et Maxima journaliers	20
IV.2 Analyse des mesures NO₂	22
IV.3 Analyse des mesures SO₂	24
IV.4 Analyse des mesures PM_{2.5}	26
IV.5 Analyse des mesures CPT	28
IV.6 Profils journaliers	30
V. Micro-Capteurs	32
V.1 Emplacements et reproductibilité	32
V.1.1 Reproductibilité Airly - PM	34
V.1.2 Reproductibilité Agriscope – NO ₂	36
V.1.3 Reproductibilité Ellona – PM, NO ₂ , SO ₂	39
V.2 Concentration en dioxyde d’azote	44
V.3 Concentration en particules fines	48
V.4 Transfert Pollution Extérieure / Intérieure – Etude période estivale 2022	52
VI. Recherche des sources	55
VI.1 Rose de pollutions des stations fixes	55
VI.2 Relation entre présence des navires et hausses des concentrations en journée	56
VI.3 Recherche de journée spécifique	58
VI.4 Détection des panaches – Journées particulières	62
Conclusion	65

Table des figures

Figure 1 : Maillage Ajaccio (2.5km x 2.5km) et Maillage Bastia (2.5km x 2.5km).....	7
Figure 2 : Carte du dispositif déployé sur Ajaccio en 2021	9
Figure 3 : Carte du dispositif déployé sur Bastia en 2021	11
Figure 4 : Station Météo sur Canetto, présence de bâtiments à l'ouest.....	13
Figure 5 : Rose des vents sur Canetto - Période Estivale 2021.....	13
Figure 6 : Rose des vents sur Ajaccio (Port Nord - Local des Accès et Port Sud - Capitainerie Sud) –	14
Figure 7 : Rose des vents sur Ajaccio – Taille arbitraire	15
Figure 8 : Panache d'un navire sur Ajaccio suivant la composante de vent principale Nord / Sud ...	15
Figure 9 : Rose des vents Bastia – Taille arbitraire	16
Figure 10 : Rose des vents la journée, station du Fango.....	17
Figure 11 : Rose des vents la nuit, station du Fango.....	17
Figure 12 : Rose des vents la journée, Toit Mairie Bastia	17
Figure 13 : Rose des vents la nuit, Toit Mairie Bastia.....	17
Figure 14 : Navires à quai sur Ajaccio – Été 2021 – Données CCI – Pas de temps horaire	18
Figure 15 : Navires à quai sur Bastia – Été 2021 – Données CCI2B – Pas de temps horaire	19
Figure 16 : Valeurs NO ₂ (Moyenne horaire et journalière) sur Ajaccio avec ligne directrice OMS – 2021.....	22
Figure 17 : Valeurs NO ₂ (Moyenne horaire et journalière) sur Bastia avec ligne directrice OMS – 2021.....	22
Figure 18 : Valeurs NO ₂ (Moyenne horaire et journalière) sur Ajaccio avec ligne directrice OMS – 2022.....	23
Figure 19 : Valeurs NO ₂ (Moyenne horaire et journalière) sur Bastia avec ligne directrice OMS – 2022.....	23
Figure 20 : Valeurs SO ₂ (Moyenne horaire et journalière) sur Ajaccio, en dessous des lignes directrices OMS – 2021	24
Figure 21 : Valeurs SO ₂ (Moyenne horaire et journalière) sur Bastia, en dessous des lignes directrices OMS – 2021	24
Figure 22 : Valeurs SO ₂ (Moyenne horaire et journalière) sur Ajaccio, en dessous des lignes directrices OMS – 2022	25
Figure 23 : Valeurs SO ₂ (Moyenne horaire et journalière) sur Bastia, en dessous des lignes directrices OMS – 2022.....	25
Figure 24 : Valeurs PM _{2.5} (Moyenne horaire et journalière) sur Ajaccio avec ligne directrice OMS – 2021.....	26
Figure 25 : Valeurs PM _{2.5} (Moyenne horaire et journalière) sur Bastia avec ligne directrice OMS – 2021.....	26
Figure 26 : Valeurs PM _{2.5} (Moyenne horaire et journalière) sur Ajaccio avec ligne directrice OMS – 2022.....	27
Figure 27 : Valeurs PM _{2.5} (Moyenne horaire et journalière) sur Bastia avec ligne directrice OMS – 2022.....	27
Figure 28 : Valeurs CPT (Moyenne horaire et journalière) sur Ajaccio – 2021	28
Figure 29 : Valeurs CPT (Moyenne horaire et journalière) sur Bastia – 2021	28
Figure 30 : Valeurs CPT (Moyenne horaire et journalière) sur Ajaccio – 2022	29

Figure 31 : Valeurs CPT (Moyenne horaire et journalière) sur Bastia – 2022	29
Figure 32 : Profil horaire des valeurs moyennes et maximales en NO ₂ sur Ajaccio durant la période estivale 2021	30
Figure 33 : Profils horaires SO ₂ , PM _{2.5} et CPT sur Ajaccio durant la période estivale 2021	31
Figure 34 : Comparaison mesures PM _{2.5} – St fixe Giraud / μCapteurs Airly	35
Figure 35 : Comparaison mesures NO ₂ – St fixe Fango / μCapteurs Agriscope	37
Figure 36 : Comparaison mesures NO ₂ – St fixe Canetto / μCapteurs Agriscope	37
Figure 37 : Comparaison μCapteurs NO ₂ avec station de référence Canetto	38
Figure 38 : Capteurs extérieurs Ellona en reproductibilité sur Giraud, Bastia	40
Figure 39 : Capteurs Intérieurs Ellona en reproductibilité à Qualitair Corse, Corte	40
Figure 40 : Comparaison PM ₁₀ Ellona / Station de référence Giraud	41
Figure 41 : Comparaison NO ₂ Ellona / Station de référence Giraud	42
Figure 42 : Comparaison SO ₂ Ellona / Station de référence Giraud	43
Figure 43 : Mesures Moyenne journalières NO ₂ Ajaccio – Période Estivale 2021 –	44
Figure 44 : Mesures Max journaliers NO ₂ Ajaccio – Période Estivale 2021 –	45
Figure 45 : Mesures Moyenne journalières NO ₂ Bastia – Période Estivale 2021 –	46
Figure 46 : Mesures Max journaliers NO ₂ Bastia – Période Estivale 2021 –	47
Figure 47 : Mesures moyennes journalières PM _{2.5} Ajaccio – Période Estivale 2021 –	48
Figure 48 : Mesures Max journaliers PM _{2.5} Ajaccio – Période Estivale 2021 –	49
Figure 49 : Mesures moyennes journalières PM _{2.5} Bastia – Période Estivale 2021 –	50
Figure 50 : Mesures Max journaliers PM _{2.5} Bastia – Période Estivale 2021 –	51
Figure 51 : Concentration en PM _{2.5} en extérieur (AW) et intérieur (AP) sur Ajaccio	52
Figure 52 : Transfert de concentrations en PM _{2.5} sur Ajaccio entre l'air extérieur (AW30142 & AW 30143) vers l'air intérieur (AP692 & AP693)	53
Figure 53 : Concentrations SO ₂ en intérieur mesurées par Ellona (Ajaccio & Bastia) - Août/Septembre 2022.....	53
Figure 54 : Transfert concentrations en SO ₂ obtenues sur Ajaccio (mesures Ellona en intérieur et extérieur) - Août/Septembre 2022.....	54
Figure 55 : Transfert concentrations en NO ₂ obtenues sur Ajaccio (mesures Ellona en intérieur et extérieur) - Août/Septembre 2022.....	54
Figure 56 : Rose des pollutions du NO ₂ et SO ₂ sur la station de Canetto, météo Canetto	55
Figure 57 : Corrélation Moyenne NO ₂ /SO ₂ et nombre (nb) de navires à quai – Ajaccio, 2021	56
Figure 58 : Corrélation Moyenne NO ₂ /SO ₂ et nombre (nb) de navires à quai – Bastia, 2021	57
Figure 59 : Journée particulière du 24 août 2021 - Ajaccio.....	62
Figure 60 : Journée particulière du 24 septembre 2021 - Bastia.....	63

Table des tableaux

Tableau 1 : Liste des lieux et instruments pour la campagne AER NOSTRUM sur Ajaccio	10
Tableau 2 : Liste des lieux et instruments pour la campagne AER NOSTRUM sur Bastia.....	12
Tableau 3 : Valeurs des polluants principaux sur Ajaccio – Période estivale 2021	20
Tableau 4 : Valeurs des principaux polluants sur Bastia – Période estivale 2021	21
Tableau 5 : Lignes directrices définies par l'OMS pour les polluants principaux - OMS	21
Tableau 6 : Dates épisodes de pollution particules fines	31
Tableau 7 : Types de site de mesure - Ajaccio	32
Tableau 8 : Types de site de mesure - Bastia.....	33
Tableau 9 : Coefficients de validation pour le PM2.5 - Source, Air Quality Sensor & CEN/TC264/WG42.....	34
Tableau 10 : Résultats régression linéaire pour les capteurs Airly en comparaison avec la station fixe Giraud.....	35
Tableau 11 : Données régression linéaire pour μ Capteurs PM (évaluation sur les PM2.5)	36
Tableau 12 : Résultats régression linéaire NO ₂	38
Tableau 13 : Résultats Coefficients de régression linéaire NO ₂	39
Tableau 14 : Identifiants et Emplacements des capteurs Ellona.....	39
Tableau 15 : Données régression linéaire pour μ Capteur PM (évaluation sur les PM2.5) – Capteur placé ensuite au niveau d’Eglise Madonna	51
Tableau 16 : Tableau des valeurs moyennes NO ₂ et SO ₂ , nombre de navires à quai par jour, et pourcentage de vent soufflant dans les différentes directions (Est/Sud-Est, etc.) avec vitesse du vent du 11/08 au 18/09 2021 – Ajaccio période estivale 2021, 6h/18h TU.....	58
Tableau 17 : Tableau des valeurs max NO ₂ et SO ₂ , nombre de navires à quai par jour, et pourcentage de vent soufflant dans les différentes directions (Est/Sud-Est, etc.) avec vitesse du vent du 11/08 au 18/09 2021 - Ajaccio période estivale 2021, 6h/18h TU	59
Tableau 18 : Tableau des valeurs moyennes NO ₂ et SO ₂ , nombre de navires à quai par jour, et pourcentage de vent soufflant dans les différentes directions (Est/Sud-Est, etc.) avec vitesse du vent du 18/08 au 27/09 2021 – Bastia période estivale 2021, 6h/18h TU	60
Tableau 19 : Tableau des valeurs max NO ₂ et SO ₂ , nombre de navires à quai par jour, et pourcentage de vent soufflant dans les différentes directions (Est/Sud-Est, etc.) avec vitesse du vent du 18/08 au 27/09 2021 – Bastia période estivale 2021, 6h/18h TU	61
Tableau 20 : Plage de mesure des instruments pour le comptage de particules	64

Introduction

Dans le cadre du projet AER NOSTRUM, deux campagnes de mesure ont été mises en place autour des ports d'Ajaccio et de Bastia. Celles-ci s'appuient sur une partie du réseau fixe de surveillance de Qualitair Corse, à laquelle se rajoutent des stations mobiles ainsi qu'une flotte de micro-capteurs. Enfin, quatre stations météo ont été ajoutées afin de corrélérer les données obtenues avec les différentes sources de pollution.

L'objectif de cette campagne est de quantifier la contribution des navires à la pollution globale, notamment celle issue du trafic routier et des centrales thermiques présentes à proximité plus ou moins immédiate des villes. Elle s'inscrit dans le cadre de la partie T1 du projet AER NOSTRUM, et vise à approfondir les connaissances sur la qualité de l'air en milieu portuaire à proximité des villes.

Afin de mener à bien ces missions, Qualitair Corse a pu bénéficier du soutien de résidents locaux ayant accepté de recevoir chez eux des micro-capteurs mesurant au plus près l'impact des navires dans les habitations. De même, grâce au soutien de la Mairie de Bastia ainsi que des Chambres de Commerce et d'Industrie de Corse, le réseau complet de mesure a pu être déployé, au plus proche des ports.

En plus d'apporter des réponses plus précises sur l'état actuel de la pollution, les données recueillies servent à calibrer deux modèles chacun d'un maillage d'environ 2.5km x 2.5km autour de chaque port.

Les deux maillages envisagés sont les suivants :



Figure 1 : Maillage Ajaccio (2.5km x 2.5km) et Maillage Bastia (2.5km x 2.5km)

I. Campagnes de mesures Ajaccio et Bastia

Les premiers instruments de mesures ont été progressivement déployés dans le cadre de la campagne AER NOSTRUM à partir de début juillet 2021, pour une fin officielle de mesure fin septembre 2022. Deux périodes estivales sont donc comprises, offrant alors la possibilité de comparer les mesures durant la haute saison à celle de la basse saison, et d'une année sur l'autre. Les périodes choisies dans la cadre de cette étude sont les suivantes :

01/07/2021 → 30/09/2021

01/07/2021 → 01/07/2022

01/07/2022 → 30/09/2022

La campagne de mesure a pour objectif d'avoir la meilleure représentativité de la qualité de l'air autour des ports de Bastia et Ajaccio au moyen de différents instruments positionnés à des emplacements stratégiques, plus ou moins proches des ports et à des hauteurs différentes. Les informations météorologiques ainsi que les différentes données logistiques et techniques du port compléteront le modèle.

Qualitair Corse possède déjà dans chaque ville, à proximité des ports, les stations de références suivantes :

- Un site urbain [**PM₁₀** / **PM_{2.5}** / **PM₁** (+ comptage 180nm → 18 µm), **NO_x**, **SO₂** et **Météo** (DV, VV, TC, PA, HR)]
- Un site trafic (**PM₁₀**, **NO_x**, **SO₂** et **Météo** (DV, VV))

A cela a été rajouté un lot de micro capteurs **NO₂** (x12) et **PM_x** (x10) ainsi que 4 **stations météo** pour étendre au maximum le périmètre d'action. Les emplacements des capteurs sont choisis principalement par rapport à leur pertinence pour le projet mais dépendent aussi des contraintes techniques et administratives.

Enfin, un compteur de particules ultra fines **CPC** ainsi qu'un analyseur de **PM_x** viennent renforcer en précision le maillage de ces mesures dans une station mobile sur Bastia.

Les données des stations fixes et mobiles sont automatiquement transférées dans la base de données de Qualitair Corse, puis intégrées au modèle. Celles des micro-capteurs sont transférées sur le site du fournisseur, puis intégrées dans notre base de données par la suite au moyen d'API, application faisant l'interface entre les bases de données et le logiciel de traitement.

Toutes les informations des mesures sont compilées dans l'annexe 2.

I.1 Ajaccio

Les instruments sur Ajaccio se décomposent selon le parc suivant :

- 3 stations météo
- 5 couples de micro-capteurs NO₂ / PM_X
- Deux analyseurs de PM_X, modèle FIDAS (Particules fines PM₁, PM_{2,5}, PM₁₀)
- Deux analyseurs de SO₂
- Deux analyseurs de NO₂

Au total, 7 lieux ont été choisis pour mailler au mieux la campagne de mesures. 4 à proximité immédiate du port et 3 en ville :



Figure 2 : Carte du dispositif déployé sur Ajaccio en 2021

Pour compléter les mesures de polluants, deux nouvelles stations météo ont été installées au niveau du local des accès du port de commerce ainsi que sur la capitainerie sud Tino Rossi, venant s'ajouter à celle déjà existante sur Canetto.

Lieux	Instruments	Pas de temps	Coordonnées	Hauteurs au sol
<i>Local des accès</i>	Micro-capteur PM _X	1h	41°55'34.774''N 8°44'22.55''E	5m
	Micro-capteur NO ₂ + DV / VV	1/4h		
<i>Gare maritime</i>	Micro-capteur PM _X	1h	41°55'17.584''N 8°44'23.331''E	20m
	Micro-capteur NO ₂	1/4h		
<i>Capitainerie Sud AJA</i>	Micro-capteur PM _X	1h	41°55'5.236''N 8°44'36.342''E	10m
	Micro-capteur NO ₂ + DV / VV	1/4h		
<i>Hôpital Ajaccio</i>	Micro-capteurs NO ₂ /PM _X	1h	41°55'23.017''N 8°44'9.419''E	15m
<i>Station fixe Canetto</i>	Micro-capteur PM _X	1h	41°55'28.938''N 8°44'8.587''E	3m
	FIDAS (PM _X) + NO _X + SO ₂ + Micro-capteur NO ₂ + DV / VV	1/4h		
<i>Station fixe Abbattucci</i>	NO _X + SO ₂ + CO + PM ₁₀	1/4h	41°55'32.46''N 8°44'17.979''E	3m
<i>Station temporaire Sampiero</i>	MiniMOB (FIDAS PM _X + SO ₂)	1/4h	41°55'25.474''N 8°44'21.504''E	3m

Tableau 1 : Liste des lieux et instruments pour la campagne AER NOSTRUM sur Ajaccio

Les emplacements avec des dispositifs calibrés selon les directives du LCSQA sont grisés dans le tableau et correspondent aux stations temporaires et fixes du dispositif de mesure.

I.2 Bastia

Concernant la ville de Bastia, la topologie particulière du lieu permet de définir plusieurs points de mesures à différentes hauteurs permettant d'affiner la représentation spatiale 3D de la modélisation. Les instruments se décomposent selon le parc suivant :

- 5 stations météo
- 5 couples de micro-capteurs NO₂ / PM_x
- Deux analyseurs PM, modèle FIDAS (Particules fines PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀)
- Un analyseur NO_x + Un capteur NO₂
- Un Compteur de Particules CPC (7nm → 1µm)
- Un Analyseur de PM_x, modèle EDM180 (PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀)

Au total, 10 lieux ont été choisis pour mailler au mieux la campagne de mesures :



Figure 3 : Carte du dispositif déployé sur Bastia en 2021

Lieux	Instruments	Pas de temps	Coordonnées	Hauteurs au sol
<i>Pylône 7 bis</i>	Micro-capteur PM _X	1h	42°42'12.061''N 9°27'12.549''E	3m
	Micro-capteur NO ₂ + DV / VV	1/4h		
<i>Capitainerie Sud BIA</i>	Micro-capteur PM _X	1h	42°41'46.238''N 9°27'8.996''E	5m
	Micro-capteur NO ₂	1/4h		
<i>Eglise Madonna</i>	Micro-capteur PM _X	1h	42°42'10.382''N 9°27'9.346''E	15m
	Micro-capteur NO ₂	1/4h		
<i>Collège Simon</i>	Micro-capteur PM _X	1h	42°41'44.325''N 9°26'51.604''E	20m
	Micro-capteur NO ₂	1/4h		
<i>Toit Mairie</i>	Micro-capteur NO ₂	1h	42°42'8.165''N 9°27'7''E	25m
	FIDAS (PM _X) + DV/VV	1/4h		
<i>Station fixe Fango</i>	PM ₁₀ + NO _x + SO ₂ + DV/VV	1/4h	42°42'10.23''N 9°26'46.703''E	3m
<i>Station fixe Giraud</i>	Micro-capteur PM _X	1h	42°41'52.638''N 9°26'47.006''E	3m
	FIDAS (PM _X) + NO _x + SO ₂ + DV/VV	1/4h		
<i>Station temporaire ODT</i>	FIDAS (PM _X) + NO _x	1/4h	42°42'7.065''N 9°27'6.315''E	3m
<i>Station temporaire Pylône 3</i>	PM _X + CPC + SO ₂ + DV/VV	1/4h	42°42'22.457''N 9°27'21.36''E	15m

Tableau 2 : Liste des lieux et instruments pour la campagne AER NOSTRUM sur Bastia

II. Stations Météo

De manière générale, les stations météo (température, humidité, vitesse et direction du vent) se doivent d'être positionnées à des endroits stratégiques dégagés afin d'être le moins possible parasitées par des éléments locaux (mur, effet venturi entre deux bâtiments, réflexion thermique d'un toit, etc.).

Les données météo étaient au préalable issues des instruments sur les stations fixes. Les informations de vitesse (VV) et de direction du vent (DV) étaient notamment impactées par le paysage urbain bloquant certains axes venteux, et le nombre insuffisant de mesures ne permettait pas d'avoir une représentativité assez précise.

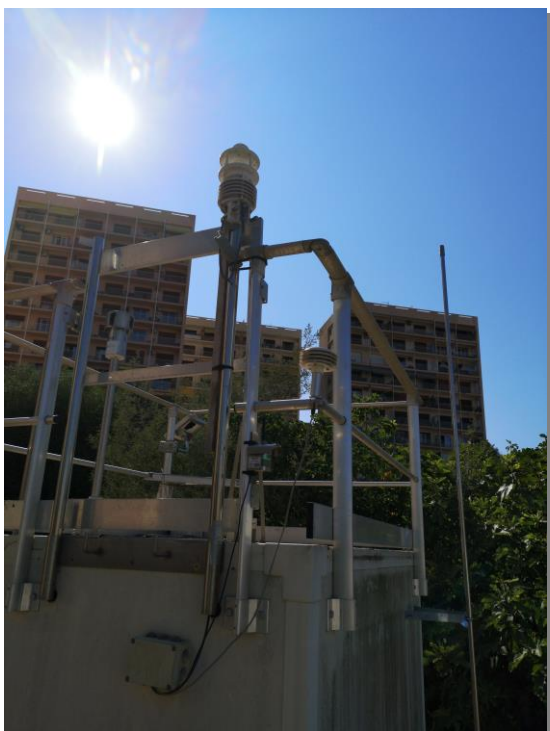


Figure 4 : Station Météo sur Canetto, présence de bâtiments à l'ouest

A titre d'exemple, la station de Canetto sur la période estivale 2021 a été influencée par un vent principalement Nord-Est, pouvant aussi s'expliquer par la présence de bâtiments bloquant tout vent de Sud et d'Ouest.

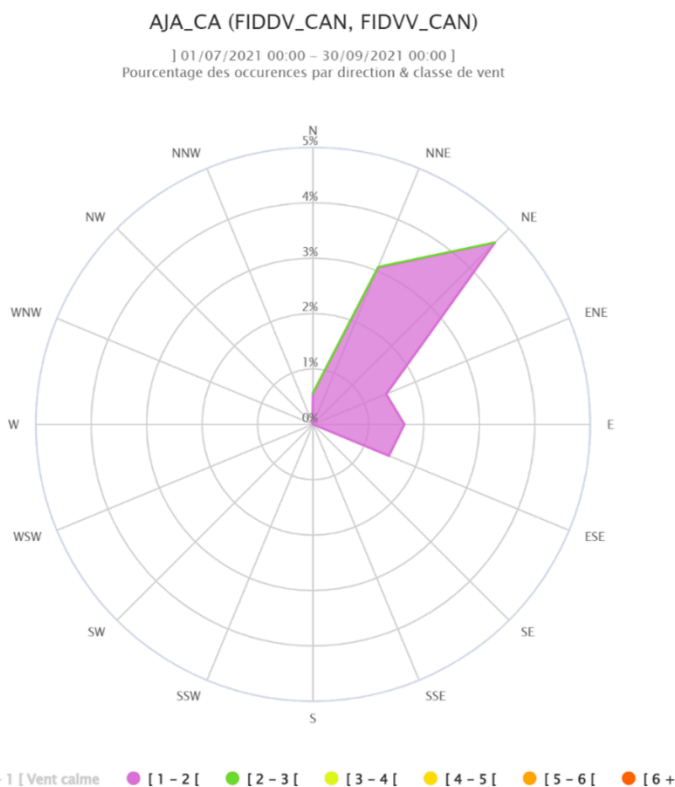


Figure 5 : Rose des vents sur Canetto - Période Estivale 2021

Face à ce constat, il a été décidé de rajouter deux stations météo supplémentaires par ville, placées au et plus proche du port, de manière à obtenir une définition plus précise de la dispersion possible des panaches des navires.

Les données recueillies sur cette même période montrent une répartition nettement différente des profils éoliens à proximité des ports :

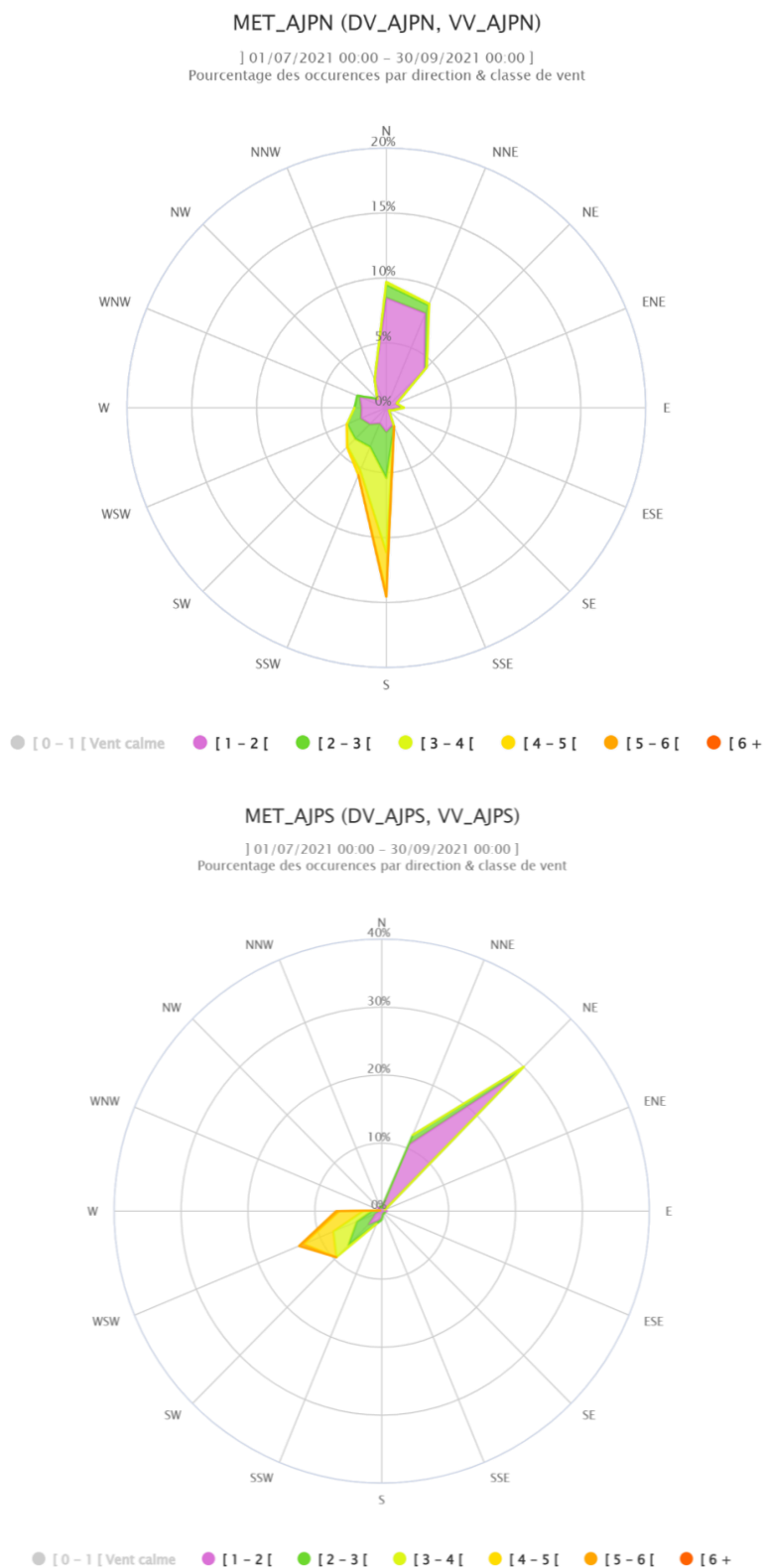


Figure 6 : Rose des vents sur Ajaccio (Port Nord - Local des Accès et Port Sud - Capitainerie Sud) – Période estivale 2021

On peut observer une tendance assez prononcée d'une composante Nord / Sud du vent sur la station météo « Port Nord », située au plus proche des navires en stationnement, et donc caractéristique de la potentielle dispersion des panaches de navires. La station plus au sud « Port Sud » tend à montrer une composante légèrement plus prononcée Sud-Ouest / Nord-Est, montrant alors que le vent s'enroule en entrée de Golfe d'Ajaccio, suivant un régime de brise de terre/mer avec le relief au nord.



Figure 7 : Rose des vents sur Ajaccio – Taille arbitraire



Figure 8 : Panache d'un navire sur Ajaccio suivant la composante de vent principale Nord / Sud

Sur Bastia, le régime principal de vent s’oriente dans un axe Est/Ouest, passant par le port. Cela est principalement dû au relief local et notamment de la brise de mer, phénomène apparaissant le jour lorsque la terre absorbe plus rapidement que la mer la chaleur émise par le soleil, réchauffant l’air au-dessus qui s’élève alors par convection, créant une zone de basse pression au niveau des terres, entraînant la création d’un vent venant de la mer. A l’inverse, la nuit, le phénomène s’inverse car la terre se refroidit plus vite que l’eau et c’est une brise de terre qui se crée.

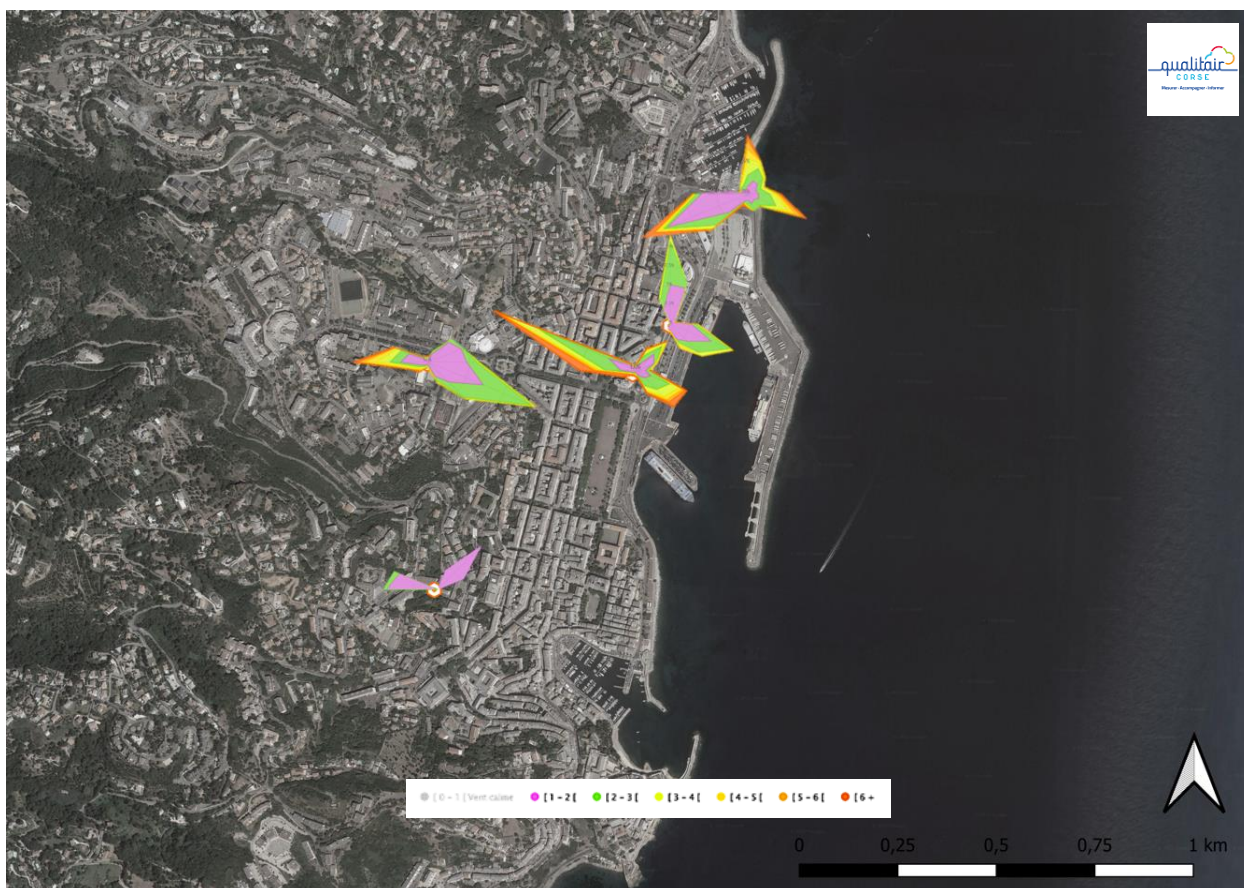


Figure 9 : Rose des vents Bastia – Taille arbitraire

En récupérant les roses des vents entre 6h et 18h TU, puis entre 18h et 6h TU sur toute la période estivale 2021, on peut faire apparaître ces brises de mer et de terre :

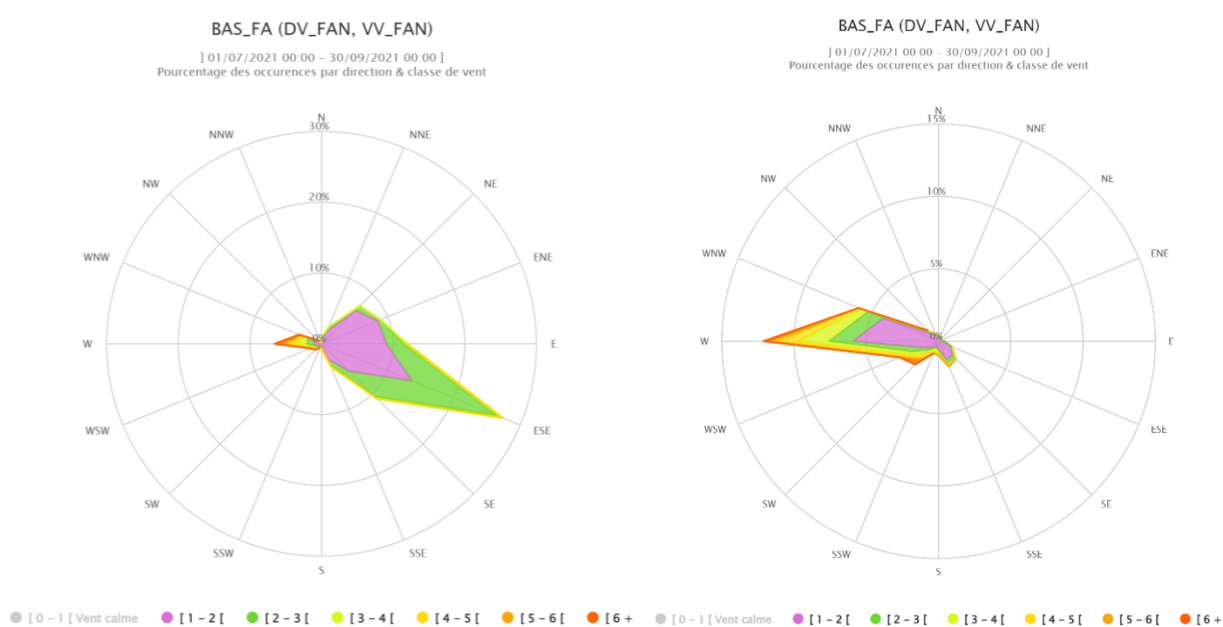


Figure 10 : Rose des vents la journée, station du Fango

Figure 11 : Rose des vents la nuit, station du Fango

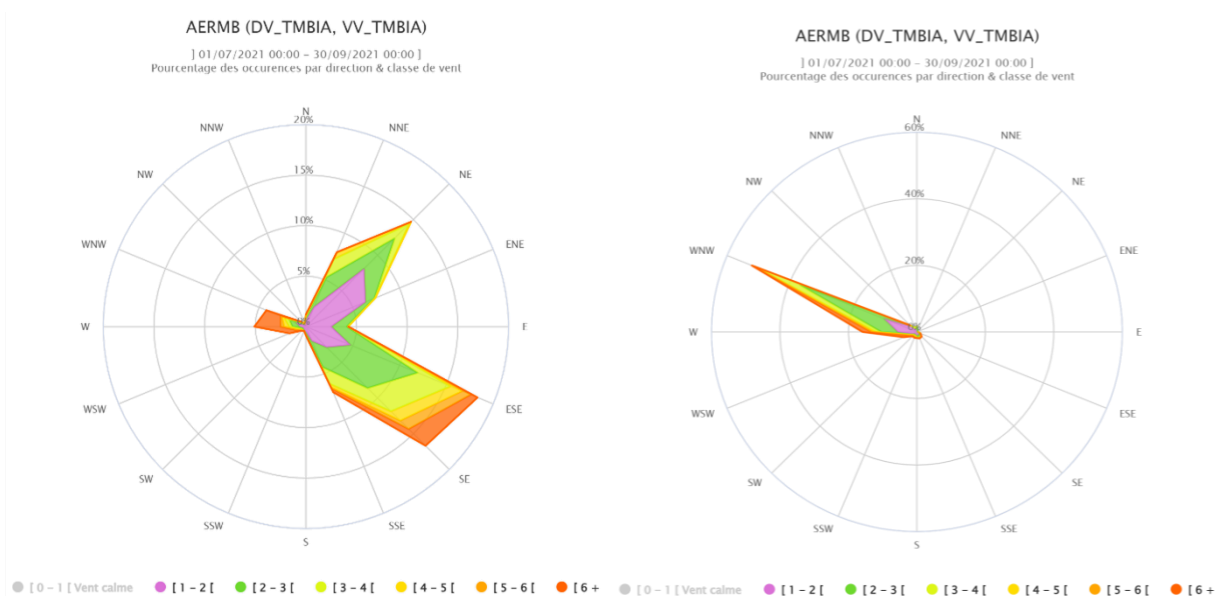


Figure 12 : Rose des vents la journée, Toit Mairie Bastia

Figure 13 : Rose des vents la nuit, Toit Mairie Bastia

A noter que les navires restent généralement à quai la journée, la brise de mer pourrait avoir une incidence notable sur l'impact de la dispersion des panaches de navires.

III. Données Maritimes

Pour compléter les mesures de concentration ainsi que celles météo, il faut les associer aux données maritimes, notamment celles concernant les horaires des escales ainsi que le type de navire accostant.

Avec le soutien de la **CCI**, nous avons pu établir la liste des ferries présents sur les ports d’Ajaccio et Bastia avec une résolution de 5 minutes. Ces informations sont particulièrement importantes quand il s’agit d’identifier des potentielles sources de pollution lors de pics sur certaines stations, ainsi qu’établir les possibilités de raccordement électrique à quai en fonction des durées des escales qui concerneront en priorité les ferries pour des raisons techniques et logistiques.

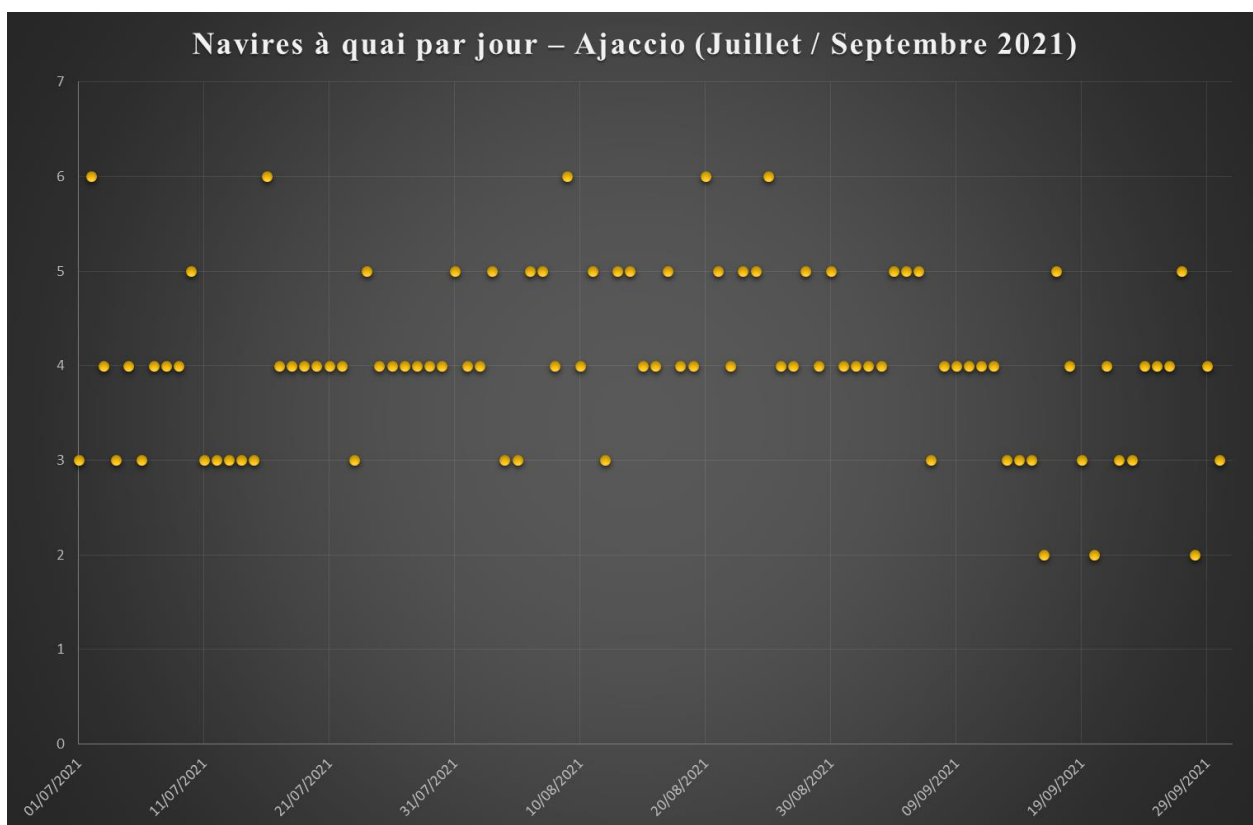


Figure 14 : Navires à quai sur Ajaccio – Eté 2021 – Données CCI – Pas de temps horaire

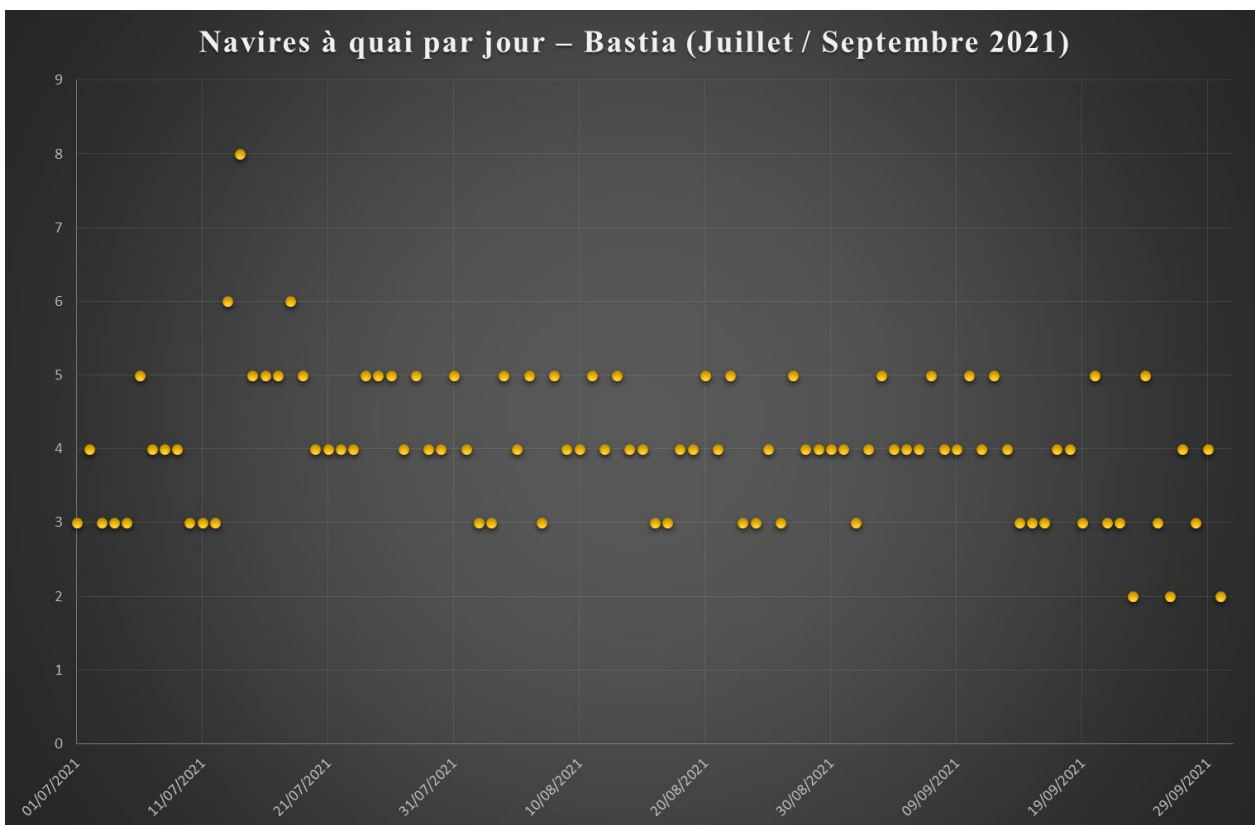


Figure 15 : Navires à quai sur Bastia – Eté 2021 – Données CCI2B – Pas de temps horaire

Lors des calculs des impacts, le type de navire sera pris en compte. Les émissions dépendent du carburant, de la taille du navire, de la durée de l’escale, etc.

IV. Paramètres surveillés

IV.1 Moyennes et Maxima journaliers

Les paramètres surveillés sont les polluants soumis à la réglementation française et faisant l'objet de recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Seuls les dépassements des moyennes horaires et journalières sont étudiés.

Afin de réaliser les comparaisons, seules les données des stations fixes et mobiles seront prises en compte pour cette analyse, les mesures des micro-capteurs n'étant pas suffisamment fiables pour les exploiter telles quelles. Sur toute la période estivale, les mesures suivantes ont été récupérées :

AJACCIO					
Période	Substance	Paramètre	Canetto	Abbatucci	Sampiero
Du 01/07/21 au 30/09/21	NO ₂	Concentration moyenne totale (µg/m ³)	12.0	29.7	-
		Concentration maximale horaire (µg/m ³)	93.6	342.0	-
		Moyenne concentration maximale horaire (µg/m ³)	46.7	99.1	-
		Concentration maximale journalière (µg/m ³)	32.9	58.7	-
	PM _{2.5}	Concentration moyenne totale (µg/m ³)	9.7	11.7	10.5
		Concentration maximale horaire (µg/m ³)	114.6	117.3	107.9
		Moyenne concentration maximale horaire (µg/m ³)	15.6	37.7	18.1
		Concentration maximale journalière (µg/m ³)	37.5	38.9	36.3
	SO ₂	Concentration moyenne totale (µg/m ³)	1.8	0.5	-
		Concentration maximale horaire (µg/m ³)	22.0	13.4	-
		Moyenne concentration maximale horaire (µg/m ³)	5.6	2.4	-
		Concentration maximale journalière (µg/m ³)	4.28	1.35	-

Tableau 3 : Valeurs des polluants principaux sur Ajaccio – Période estivale 2021

On peut notifier certains dépassements très fréquents pour la station Abbatucci, imputés principalement aux travaux réalisés à proximité. Les valeurs de certaines maximales sur les PM peuvent être expliquées par les épisodes de pollution Saharienne et ne sont pas liées au trafic maritime ou routier.

Ces données seront disponibles en détail sur la plate-forme MONICA, et détaillés dans l'annexe 3 de ce rapport.

BASTIA							
Période	Substance	Paramètre	Fango	Giraud	ODT	Toit Mairie	Pylône 3
Du 01/07/21 au 30/09/21	NO ₂	Concentration moyenne totale (µg/m ³)	13.9	8.6	38.1	-	-
		Concentration maximale horaire (µg/m ³)	157.1	159.0	407,1	-	-
		Moyenne concentration maximale horaire (µg/m ³)	56.6	40.8	122.7	-	-
		Concentration maximale journalière (µg/m ³)	38.2	25.6	56.9	-	-
	PM _{2.5}	Concentration moyenne totale (µg/m ³)	-	8.3	9.0	8.9	8.0
		Concentration maximale horaire (µg/m ³)	-	68.0	66.8	71.0	30.2
		Moyenne concentration maximale horaire (µg/m ³)	-	13.4	16.0	15.7	12.4
		Concentration maximale journalière (µg/m ³)	-	22.8	23.7	25.1	17.1
	SO ₂	Concentration moyenne totale (µg/m ³)	0.9	0.5	-	-	3.1
		Concentration maximale horaire (µg/m ³)	24.3	56.6	-	-	37.3
		Moyenne concentration maximale horaire (µg/m ³)	4.5	3.7	-	-	9.1
		Concentration maximale journalière (µg/m ³)	2.2	2.4	-	-	8.3

Tableau 4 : Valeurs des principaux polluants sur Bastia – Période estivale 2021

Pour certaines espèces, l’OMS définit une nouvelle ligne directrice depuis 2021 qui correspond à une valeur cible en deçà de laquelle on considère que les effets de la pollution de l’air sur la santé sont admissibles. Elle peut être définie soit en moyenne horaire, soit en moyenne journalière.

Polluant	Durée retenue pour le calcul des moyennes	Seuil de référence (µg/m ³)
PM _{2.5}	Année	5
	24h	15
NO ₂	Année	10
	24h	25
	1h	200
SO ₂	24h	40
	10 min	500

Tableau 5 : Lignes directrices définies par l’OMS pour les polluants principaux - OMS

IV.2 Analyse des mesures NO₂

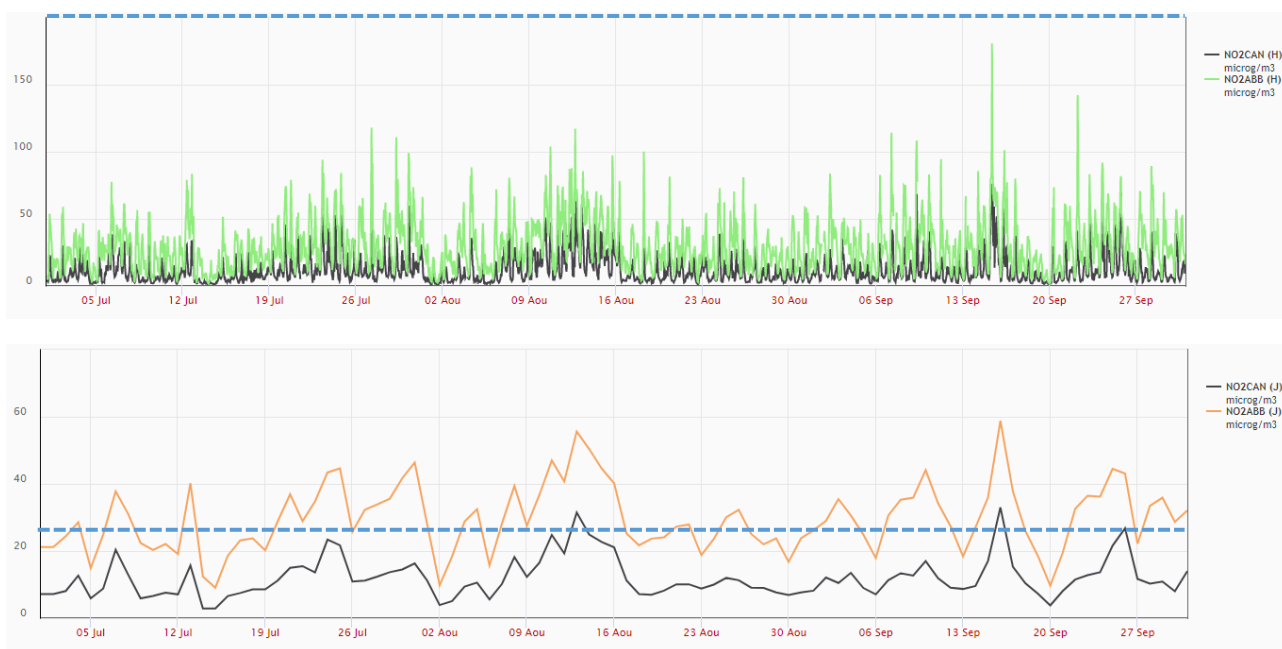


Figure 16 : Valeurs NO₂ (Moyenne horaire et journalière) sur Ajaccio avec ligne directrice OMS – 2021

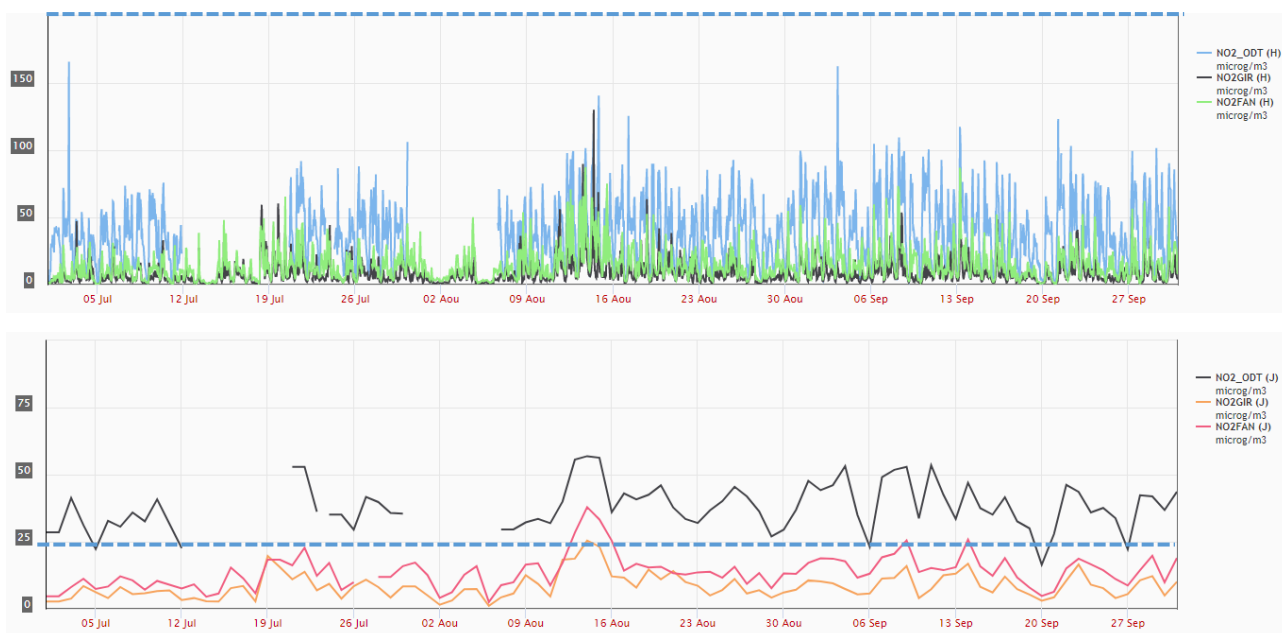


Figure 17 : Valeurs NO₂ (Moyenne horaire et journalière) sur Bastia avec ligne directrice OMS – 2021

Plusieurs dépassements journaliers sont à noter en 2021, dus à la caractéristique « trafic » de certaines stations (dont ABB- Abbatucci et ODT – Office du Tourisme).

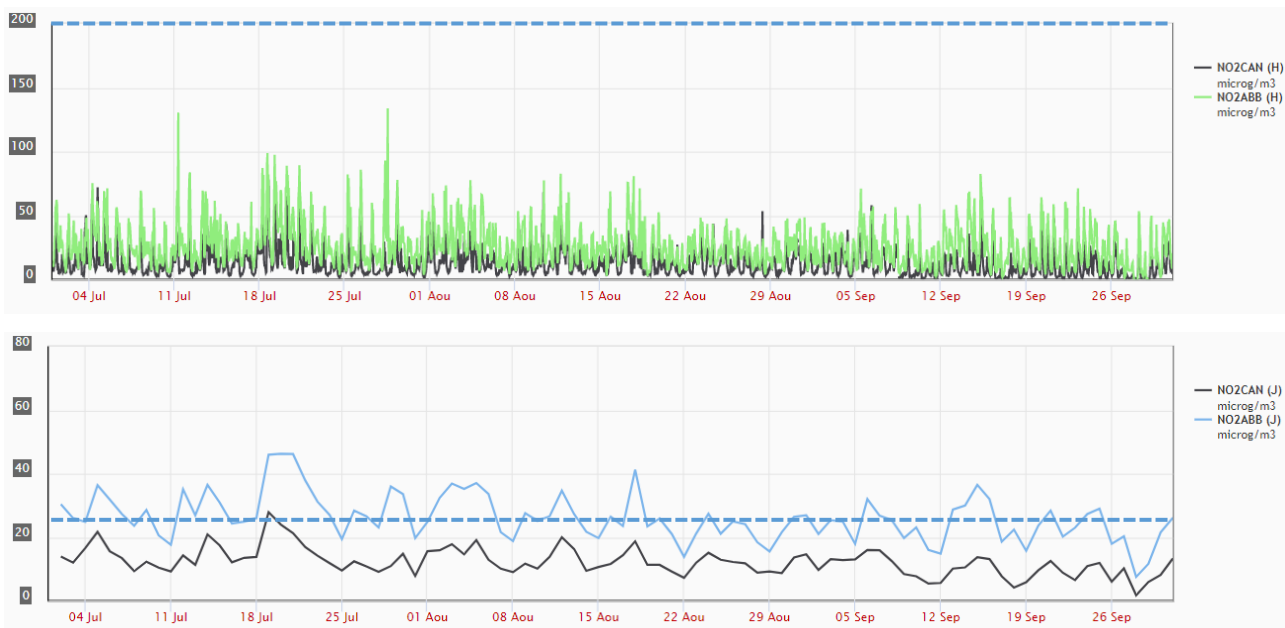


Figure 18 : Valeurs NO2 (Moyenne horaire et journalière) sur Ajaccio avec ligne directrice OMS – 2022

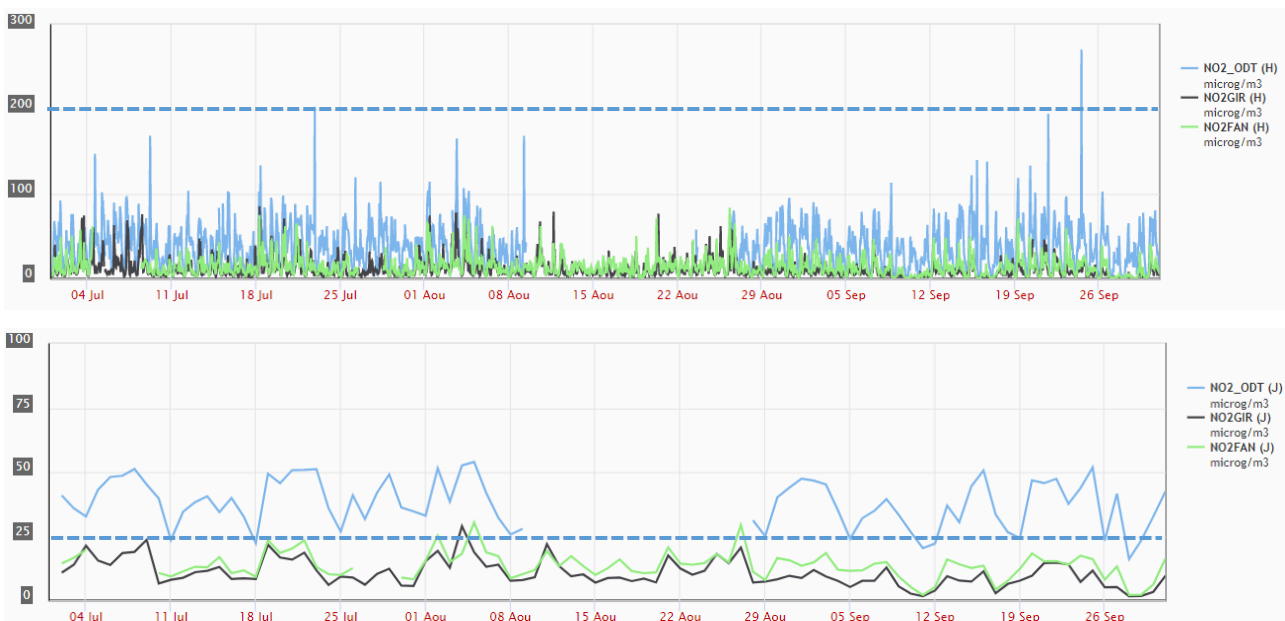


Figure 19 : Valeurs NO2 (Moyenne horaire et journalière) sur Bastia avec ligne directrice OMS – 2022

Le constat se retrouve en 2022 pour les stations trafic, de manière plus ou moins soutenue. L'étude cherchera à identifier les différentes sources de pollution, et principalement celles issues du maritime en se basant sur les stations urbaines, moins impactées par le trafic routier.

IV.3 Analyse des mesures SO₂

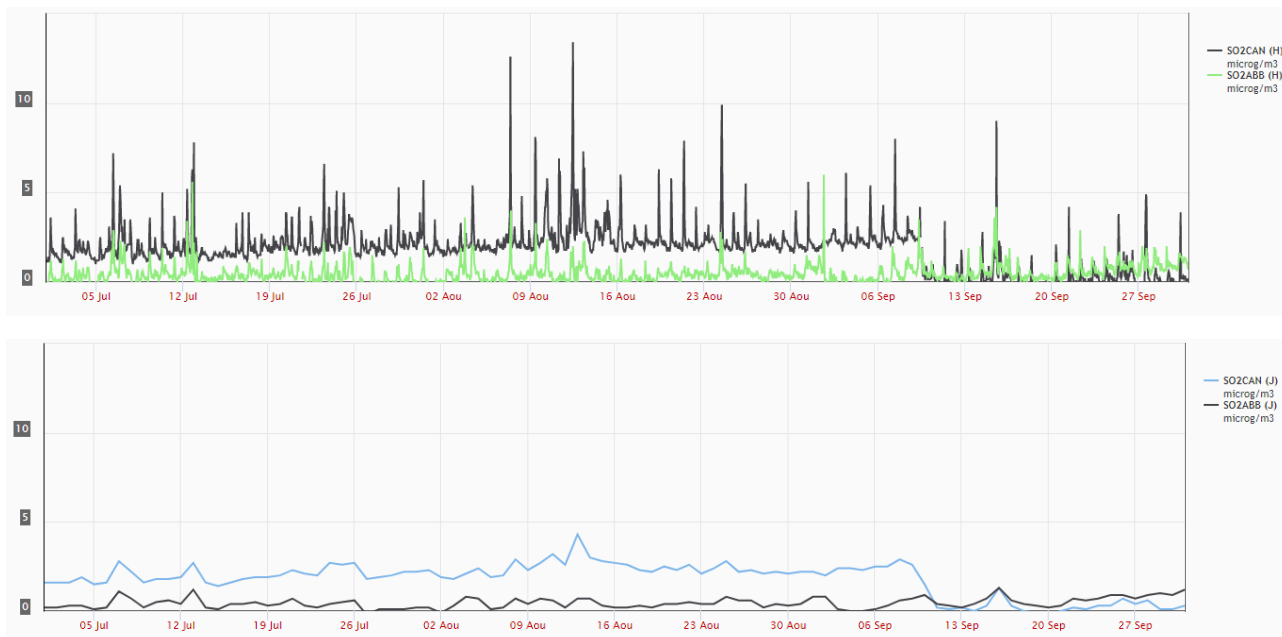


Figure 20 : Valeurs SO₂ (Moyenne horaire et journalière) sur Ajaccio, en dessous des lignes directrices OMS – 2021

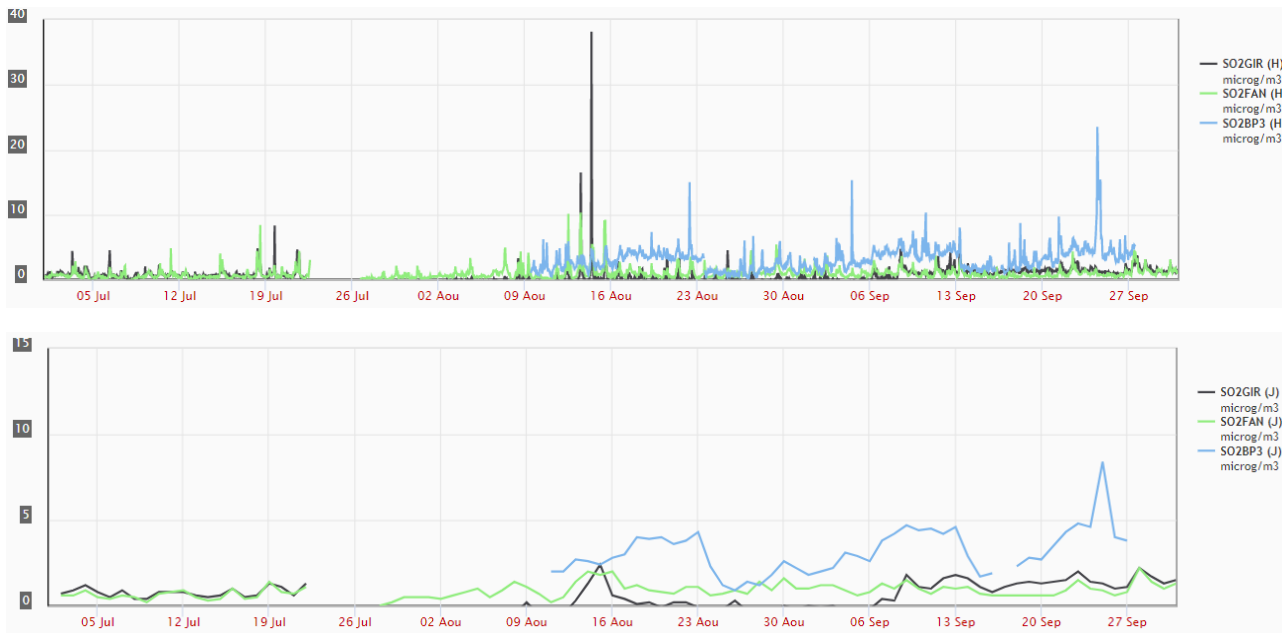


Figure 21 : Valeurs SO₂ (Moyenne horaire et journalière) sur Bastia, en dessous des lignes directrices OMS – 2021

Aucun dépassement n'est à noter en 2021 concernant le SO₂, l'étude devra se concentrer sur les pics identifiés comme ceux venant du maritime (corrélation présence de navires et direction du vent). Sur Bastia, certaines stations enregistrent en revanche des pics relativement importants par rapport au « bruit de fond ». Cela est perçu comme un marqueur de pollution maritime ponctuel.

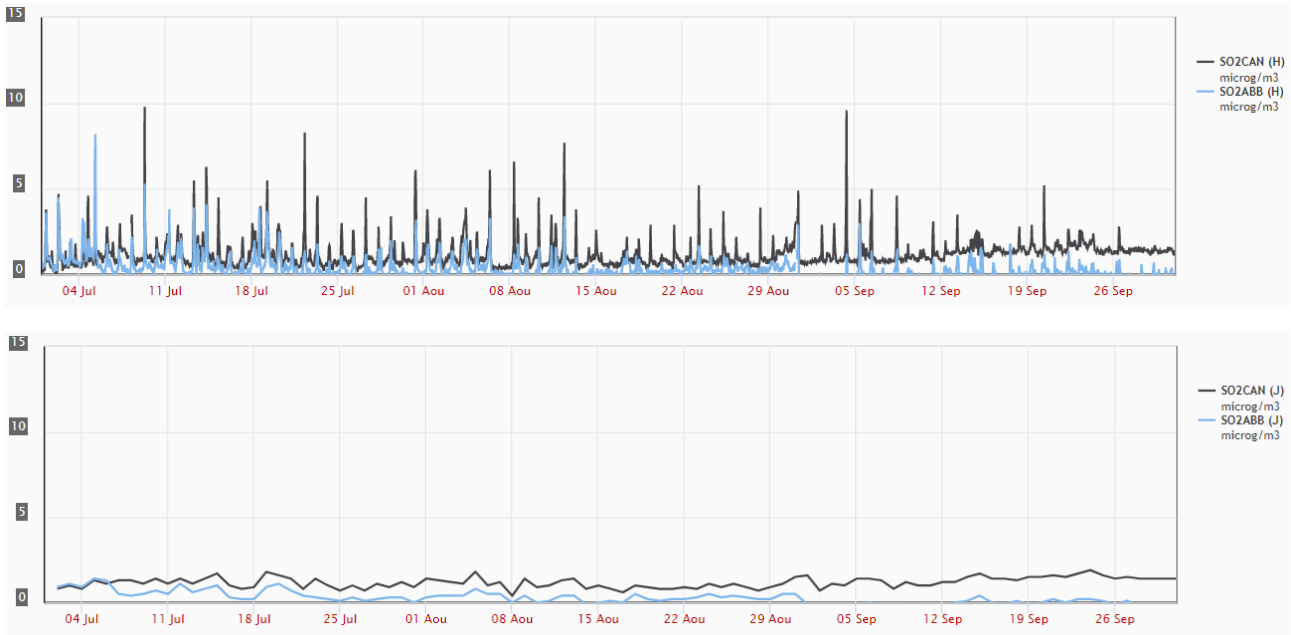


Figure 22 : Valeurs SO₂ (Moyenne horaire et journalière) sur Ajaccio, en dessous des lignes directrices OMS – 2022

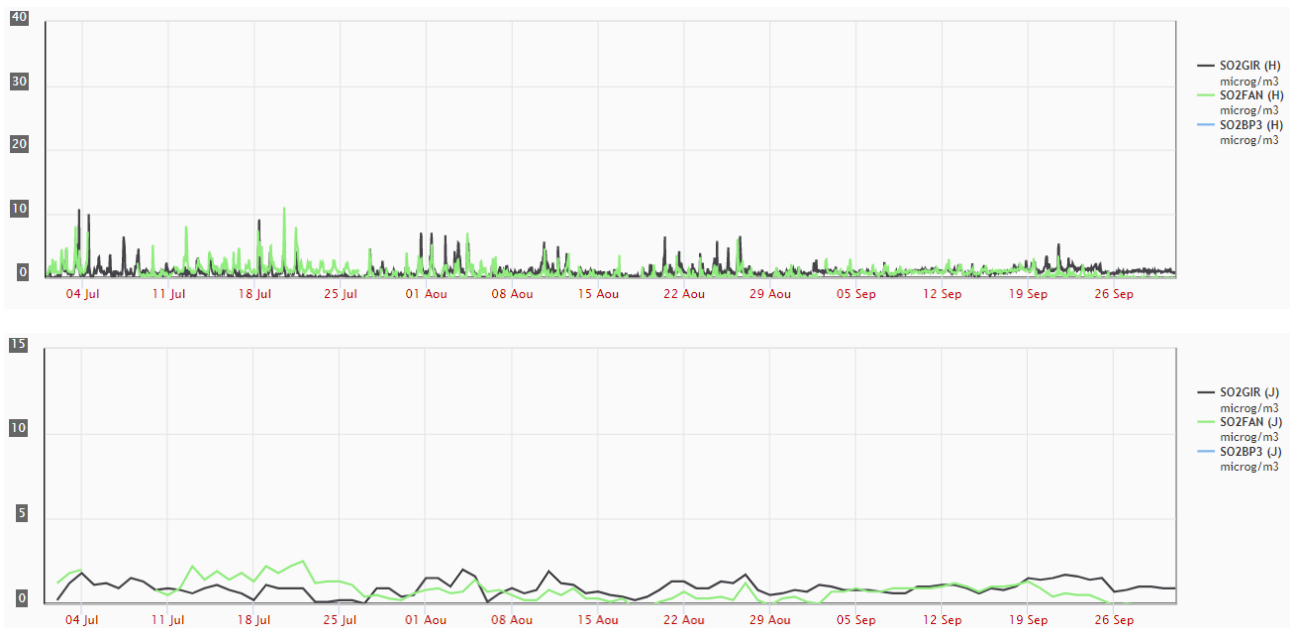


Figure 23 : Valeurs SO₂ (Moyenne horaire et journalière) sur Bastia, en dessous des lignes directrices OMS – 2022

On peut observer des pics remarquables également en 2022. La station SO₂ BP3 n'étant plus installée, aucune donnée est disponible pour cet emplacement proche du port qui a pu montrer des résultats assez intéressants en 2021.

IV.4 Analyse des mesures PM_{2.5}

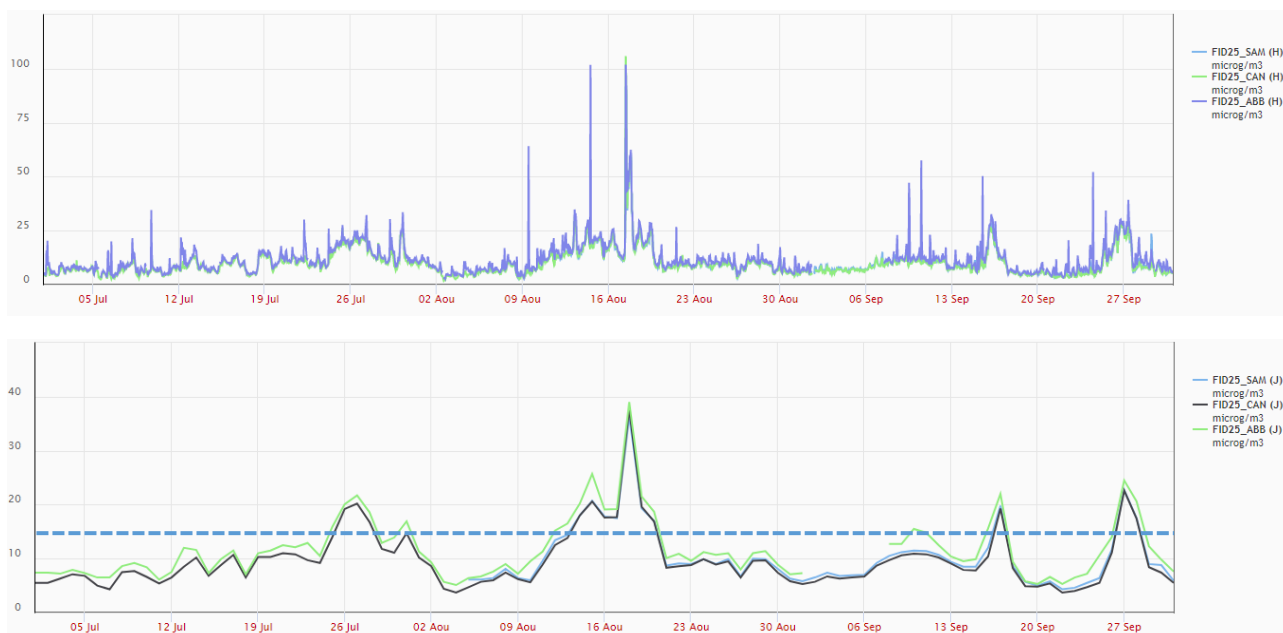


Figure 24 : Valeurs PM_{2.5} (Moyenne horaire et journalière) sur Ajaccio avec ligne directrice OMS – 2021

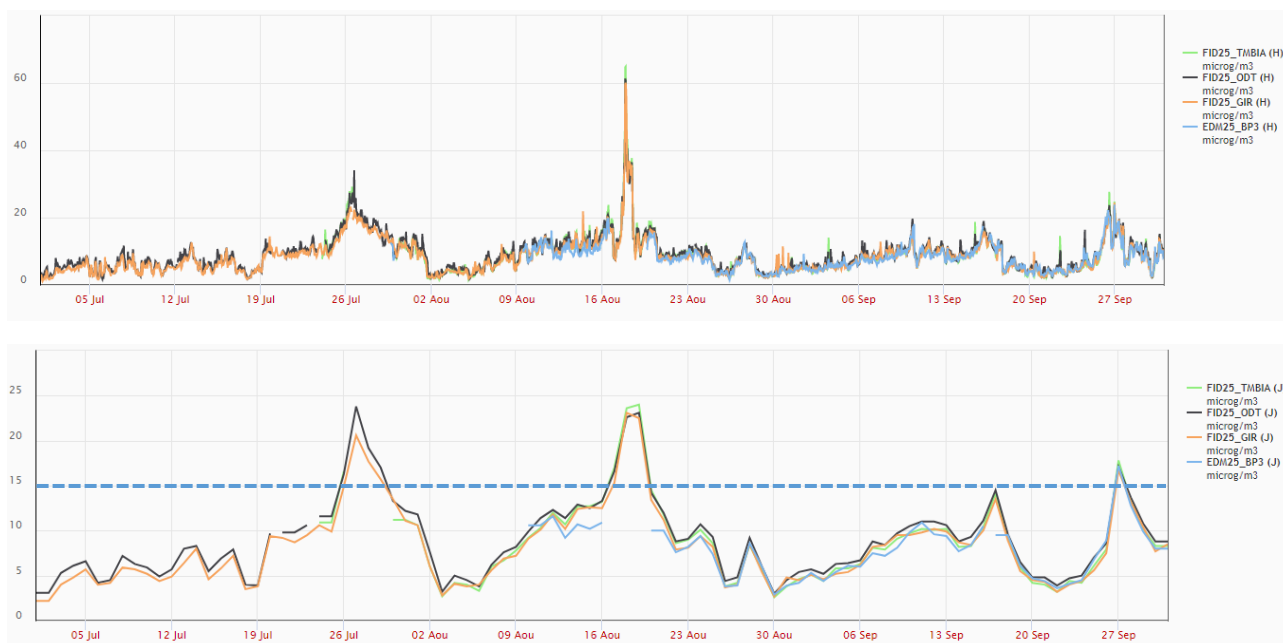


Figure 25 : Valeurs PM_{2.5} (Moyenne horaire et journalière) sur Bastia avec ligne directrice OMS - 2021

Les dépassements observés sur les moyennes horaires (fin juillet et mi-août) correspondent à des épisodes pollution provenant du Sahara et des incendies du Var en 2021. Les autres pics moins prononcés sont également issus d'épisodes de pollution moins forts mais de même origine.

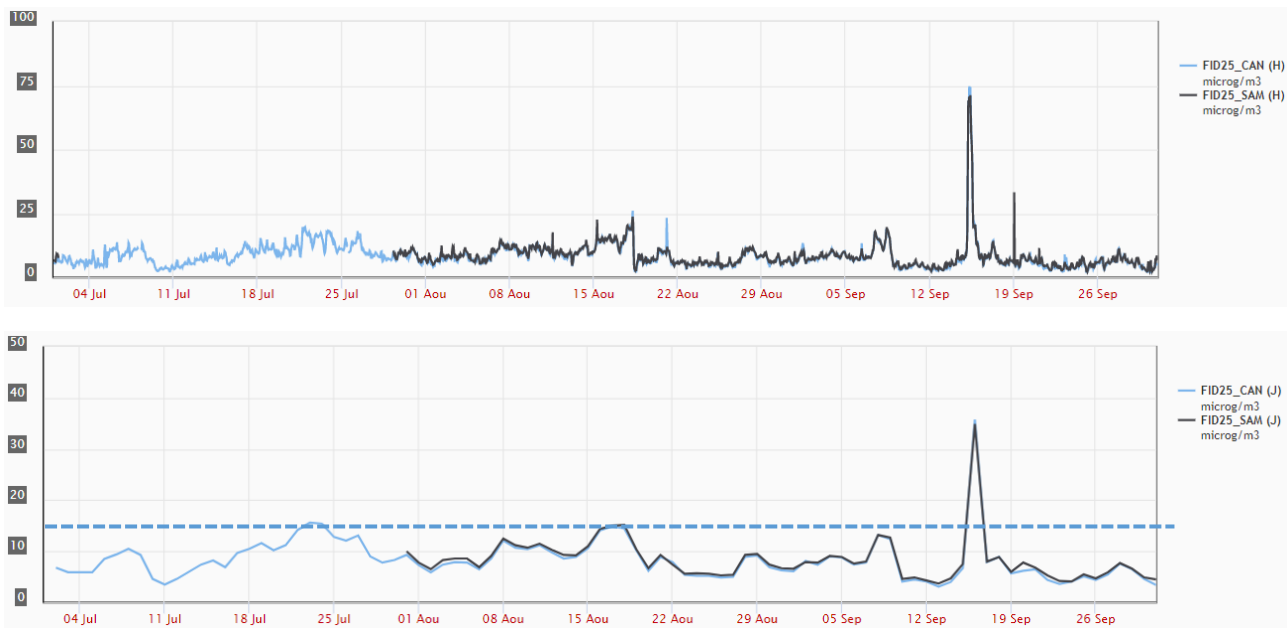


Figure 26 : Valeurs $PM_{2.5}$ (Moyenne horaire et journalière) sur Ajaccio avec ligne directrice OMS – 2022

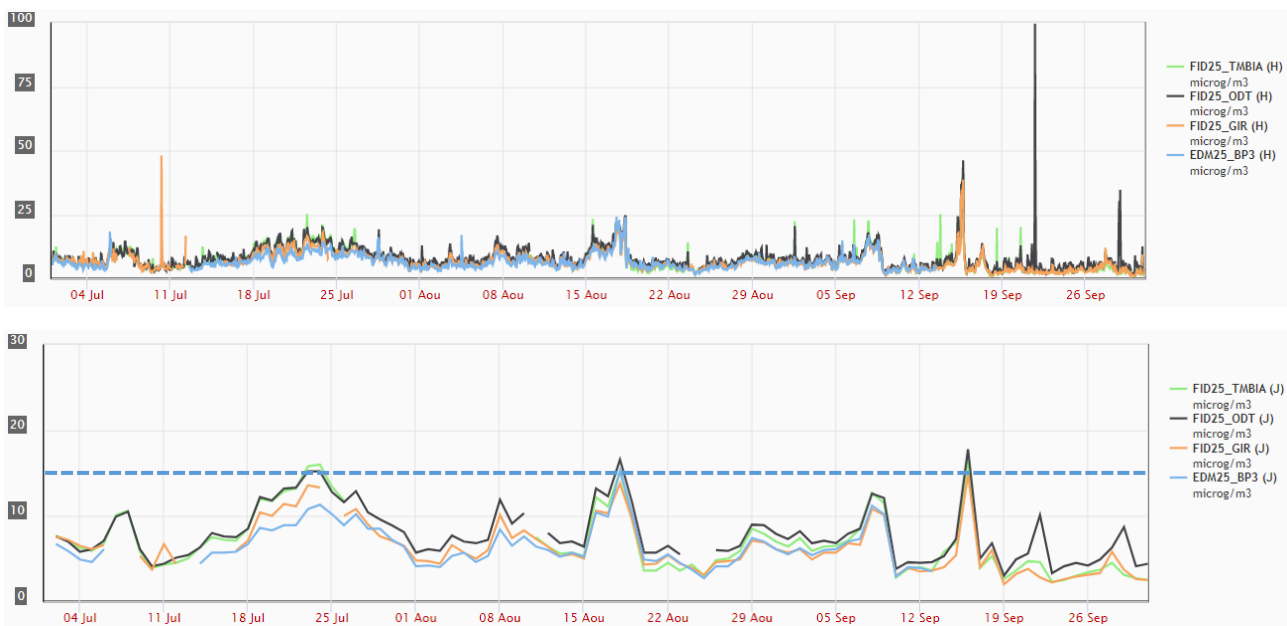


Figure 27 : Valeurs $PM_{2.5}$ (Moyenne horaire et journalière) sur Bastia avec ligne directrice OMS – 2022

Des épisodes de pollution se retrouvent également dans les mesures ci-dessus (mi-septembre notamment).

IV.5 Analyse des mesures CPT

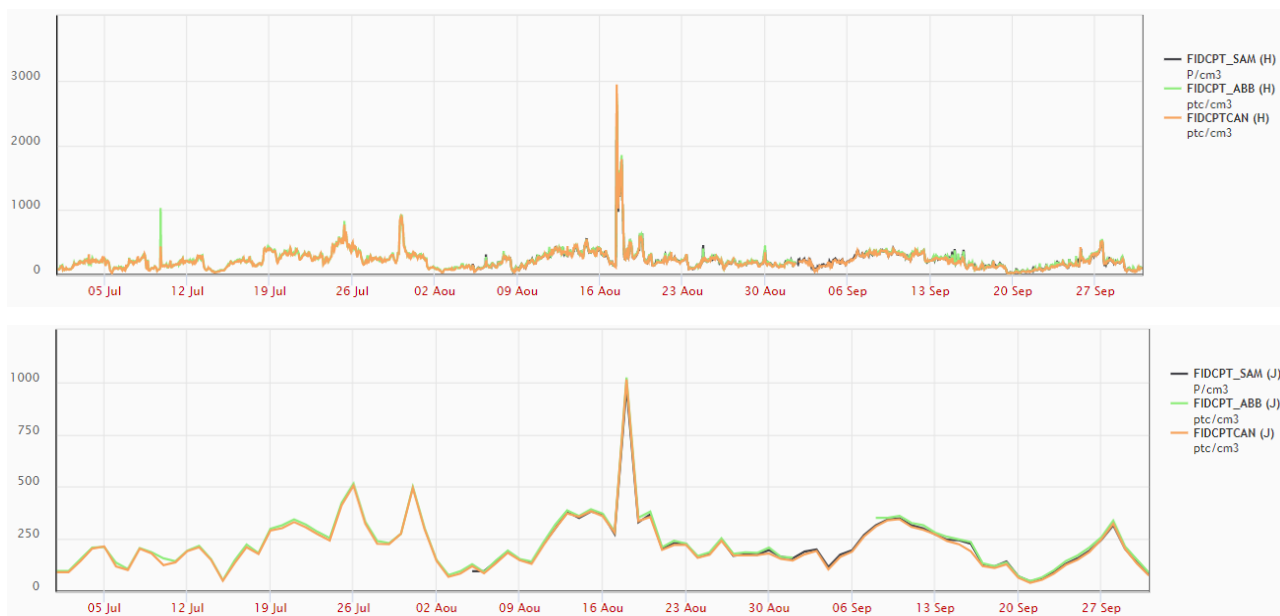


Figure 28 : Valeurs CPT (Moyenne horaire et journalière) sur Ajaccio – 2021

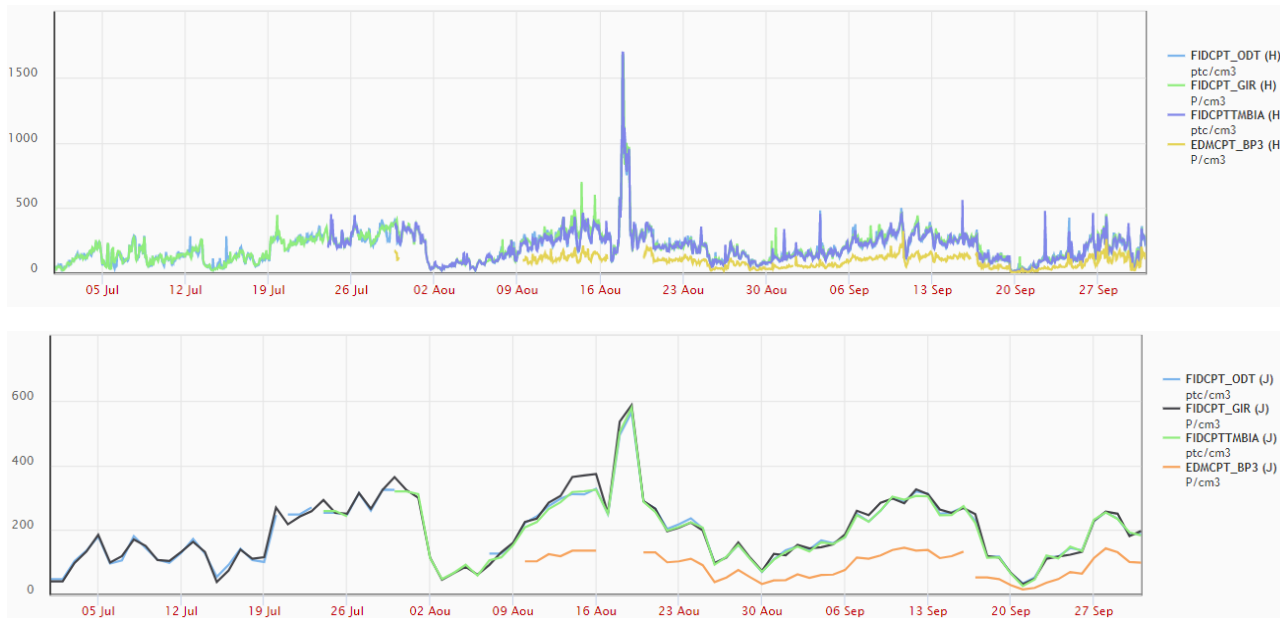


Figure 29 : Valeurs CPT (Moyenne horaire et journalière) sur Bastia – 2021

Un paramètre important à surveiller concerne le comptage de particules qui permet d’approfondir les connaissances, notamment lorsqu’il s’agit de suivre les particules ultra fines. Aucune norme n’est pour l’instant définie étant donné l’ajout récent de cette méthode analytique. Les mêmes épisodes de pollution généralisée sur la Corse sont identifiables sur ces courbes.

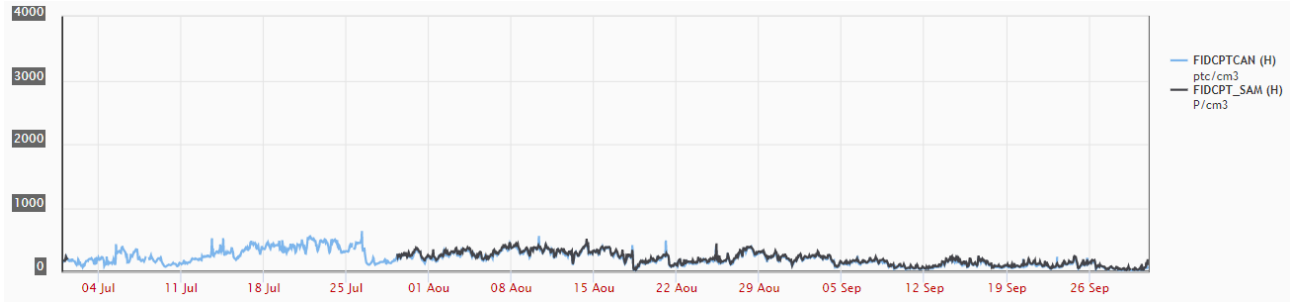


Figure 30 : Valeurs CPT (Moyenne horaire et journalière) sur Ajaccio – 2022

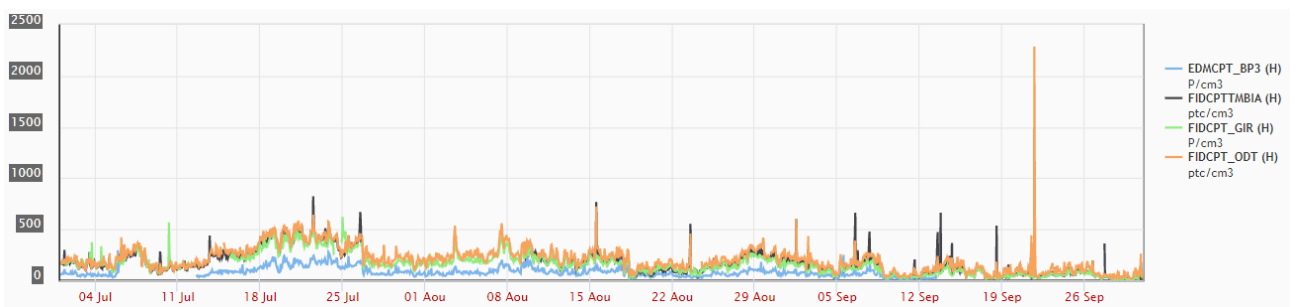
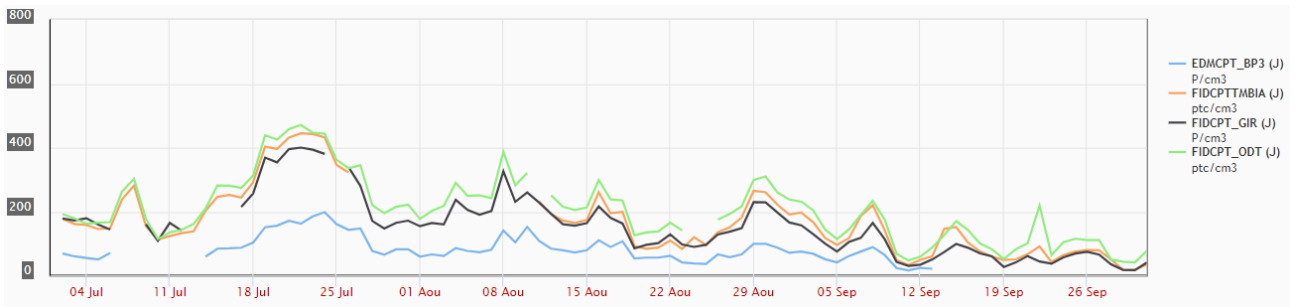
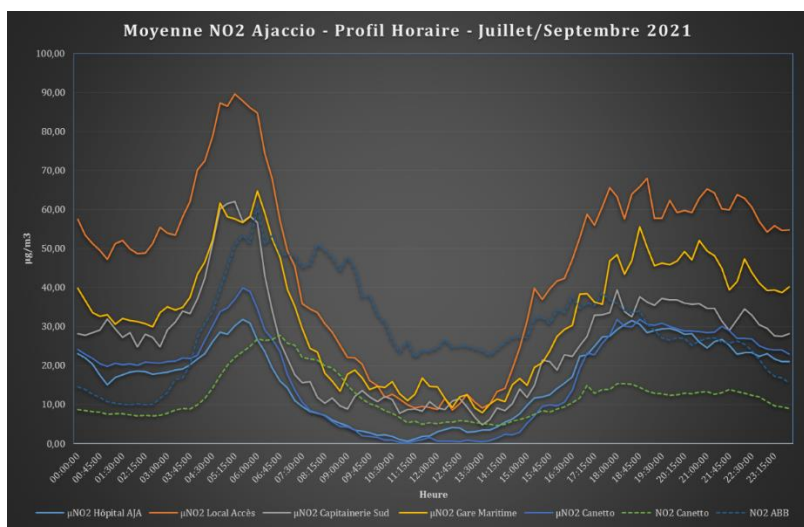
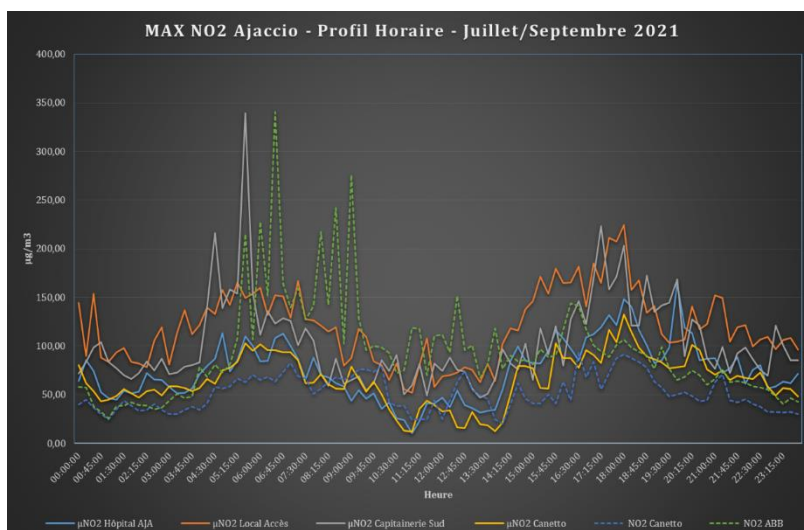


Figure 31 : Valeurs CPT (Moyenne horaire et journalière) sur Bastia – 2022

IV.6 Profils journaliers

Afin d'identifier les heures auxquelles des pics de pollution surviennent (trafic, maritime, autre), il peut être intéressant de tracer les profils journaliers des polluants principaux sur toute la période étudiée. La tendance qui s'en dégage permet de comprendre à quel moment de la journée la pollution est plus grande, et ainsi chercher des corrélations entre les différents paramètres pour en comprendre la cause.

Pour tracer ces profils, tous les instruments de mesures ont été pris en compte, micro-capteurs inclus. En effet, cet axe de recherche ne vise pas à établir des courbes de valeurs exactes mais plutôt d'identifier des tendances établies, répétées sur tous les points de mesure. Les valeurs brutes obtenues sont donc à nuancer en fonction de certains éléments (calibration/validation des micro-capteurs imprécise, travaux temporaires localisés à côté de certains points de mesure, etc.)



Les profils horaires de NO₂ sur Ajaccio montrent une activité plus poussée le matin et le soir, correspondant à un profil relativement classique de pollution trafic et maritime. En effet, les pics correspondent aux heures d'activités maximales pendant lesquelles la population s'active (trajet domicile-travail) et inversement le soir. Cela coïncide également avec les horaires d'arrivées et de départs des liaisons maritimes.

En moyenne, les pics semblent être assez importants sur les heures concernées. Evidemment, les valeurs des micro-capteurs (en lignes continues sur le graphique) sont à nuancer.

Figure 32 : Profil horaire des valeurs moyennes et maximales en NO₂ sur Ajaccio durant la période estivale 2021

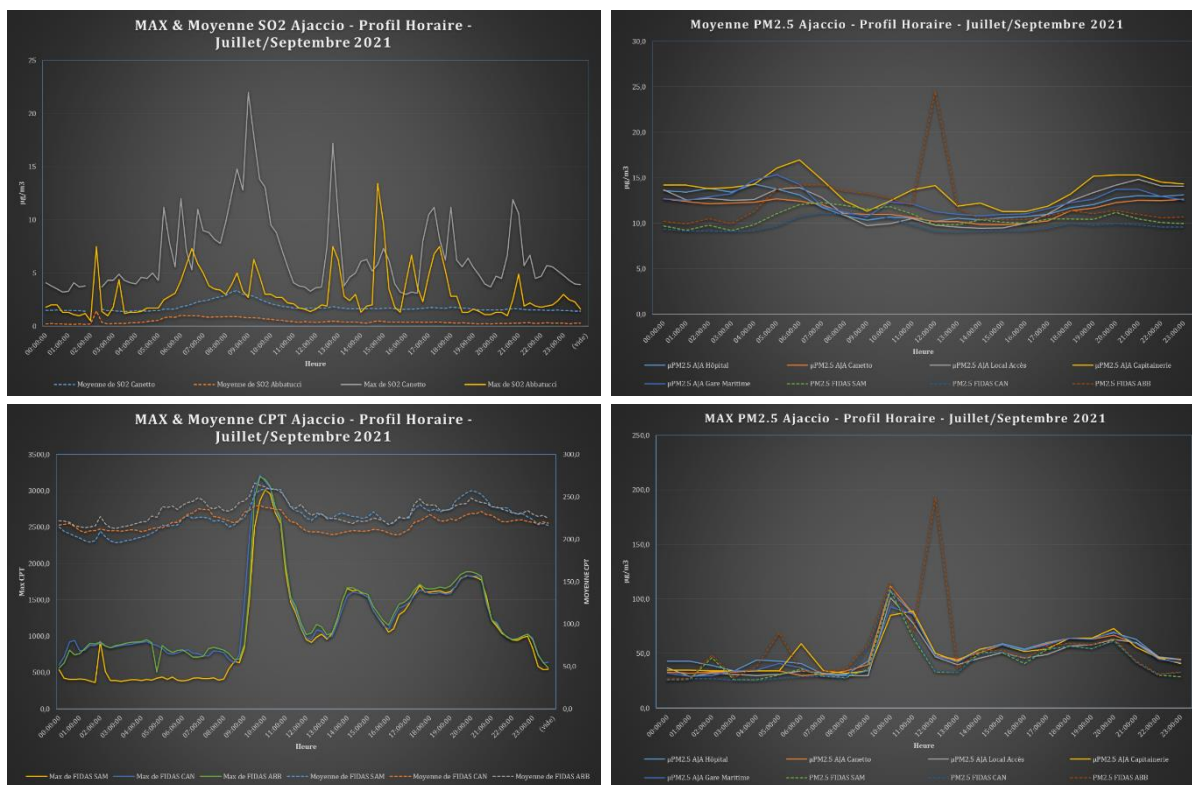


Figure 33 : Profils horaires SO₂, PM_{2.5} et CPT sur Ajaccio durant la période estivale 2021

Il est plus difficile d'observer de réelle tendance en revanche sur les polluants SO₂ et PM. Le SO₂ étant principalement identifié comme un marqueur de la pollution maritime (étant le seul secteur suffisamment émissif en soufre comparativement), il est considéré comme dépendant de la présence de navires au port ou dans la rade, couplé avec une direction de vent propice au transfert du panache sur la station en question. Le profil horaire est donc plus disparate.

Concernant les PM, il s'agit d'un polluant régulièrement affecté par des épisodes de grande ampleur (DUST / Sable Saharien), qui ont affecté à 6 reprises la Corse durant la période estivale 2021 :

Date	Cause
25 – 28 juillet 2021	Poussière du Sahara (Dust)
11 – 18 août 2021	Poussière du Sahara (Dust) + Incendie du Var
15 – 16 septembre 2021	Poussière du Sahara (Dust)
25 – 27 septembre 2021	Poussière du Sahara (Dust)

Tableau 6 : Dates épisodes de pollution particules fines

De plus, d'importants travaux étaient réalisés au même moment à proximité de la station fixe Abbatucci (ABB), ce qui se traduit sur le graphique par d'importants pics aux alentours de midi (UTC).

V. Micro-Capteurs

V.1 Emplacements et reproductibilité

Dans le cadre du projet AER NOSTRUM, les emplacements des capteurs et stations de mesure ont été choisis afin de diversifier au maximum la représentativité des zones habitables impactées par différentes conditions de vents.

Les capteurs / analyseurs peuvent être disposés différemment en fonction de la zone. Des capteurs ont donc été placés soit sur des balcons de particuliers – incluant donc de potentiels effets de turbulence aux abords des murs – transposant ainsi le constat de suie sur les bords des fenêtres en données tangibles mesurables, soit sur des toits ou bien encore directement au niveau des stations fixes.

Des rapports de vie des capteurs / stations de mesures seront rédigés afin d’assurer un suivi tout au long de la campagne (Installation, Maintenance, Problèmes techniques/administratifs, etc.).

Un contrôle régulier est mis en place pour vérifier qu’aucun dysfonctionnement ne survient durant la période (validation des données). Les emplacements des capteurs sont choisis principalement par rapport à leur pertinence pour le projet mais dépendent aussi des contraintes techniques et administratives.

Suite aux différentes phases de repérage pendant l’année et après signature des différentes conventions d’occupation de l’espace public, voici la liste des emplacements des points de mesure ainsi que leur type d’influence.

Lieux	Capteurs	Influence principale	Type d’emplacement
Local des Accès	μCapteur PM _X / NO ₂ + Météo	Portuaire + Routière	Toit dégagé
Toit Gare Maritime	μCapteur PM _X / NO ₂	Portuaire	Toit dégagé
Capitainerie Sud AJA	μCapteur PM _X / NO ₂ + Météo	Portuaire	Toit dégagé
Hôpital Ajaccio	μCapteur PM _X / NO ₂	Portuaire	Balcon
St mobile Sampiero	FIDAS + SO ₂	Portuaire + Routière	Station mobile Parking
St fixe Abbatucci	NO _x + PM ₁₀ + CO + SO ₂	Routière	Toit Station Fixe
St fixe Canetto	μCapteur PM _X / NO ₂ Black Carbon + Météo + NO _x + SO ₂	Urbaine	Toit Station Fixe

Tableau 7 : Types de site de mesure - Ajaccio

Lieux	Capteurs	Influence principale	Type d'emplacement
Pylône 7 bis	μ Capteur PM_X / NO_2 + Météo	Portuaire + Routière	Pylône dégagé
Capitainerie Sud BIA	μ Capteur PM_X / NO_2	Portuaire + Routière	Toit dégagé
Eglise Madonna	μ Capteur PM_X / NO_2	Portuaire	Balcon
Toit Mairie BIA	FIDAS + NO_2 + Météo	Portuaire	Toit dégagé
Collège Simon	μ Capteur NO_2/PM_X	Urbaine	Toit dégagé
St mobile ODT	FIDAS + NO_x	Routière	Station fixe
St mobile Pylône 3	CPC + Analyseur PM + SO_2 + Météo	Portuaire + Routière	Station mobile Parking
St fixe Fango	Météo + PM_{10} + SO_2 + NO_x	Routière	Station fixe
St fixe Giraud	μ Capteur PM_X / NO_2 + NO_x + SO_2 + FIDAS + Météo Vent	Urbaine	Station fixe

Tableau 8 : Types de site de mesure - Bastia

Une première étape importante pour la phase T1 du projet consistait à calibrer / valider les micro-capteurs reçus par des mesures communes à un endroit de référence. Restait alors à déterminer par méthode de régression linéaire les meilleurs éléments à placer aux endroits stratégiques.

Pendant une certaine période, les données des micro-capteurs ont été récupérées et comparées avec celles d'une station de référence. Cela a permis d'établir alors une classification qualitative des capteurs en calculant les différents coefficients R^2 et pentes selon une méthode de régression linéaire.

La méthode pour évaluer la pertinence des résultats se base sur une méthode de régression linéaire pour tracer une courbe de corrélation, et en sortir des coefficients révélateurs de la performance des micro-capteurs (pente, R^2 , ordonnée à l'origine). Les données calculées sont alors comparées à des critères de référence dépendant du type de polluant.

Les mesures seront disponibles sur la plate-forme MONICA.

V.1.1 Reproductibilité Airly - PM

Après la réception des micro-capteurs Airly PM en février 2021, une étape de comparaison avec des données de référence a été mise en place jusqu'en juin 2021 au niveau de la station de mesure de Giraud.

Les 10 capteurs ont été installés au même endroit afin de comparer les valeurs mesurées entre elles (répétabilité) puis avec celles du FIDAS (justesse). Les capteurs Airly ont la possibilité de mesurer les concentrations en PM1, PM2.5 et PM10.

		PM _{2,5}		
		Division A	Division B	Division C
LABORATOIRE	Justesse (pente)	$0,7 \leq p \leq 1,3$	$0,5 \leq p < 0,7$ ou $1,3 < p \leq 1,5$	$p < 0,5$ ou $p > 1,5$
	Linéarité (de 0 à 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$R^2 \geq 0,75$	$0,5 \leq R^2 < 0,75$	$R^2 < 0,5$
	Limite de détection	$LD \leq 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$5 \mu\text{g}/\text{m}^3 < LD \leq 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$LD > 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$
	Répétabilité (à 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$r \leq 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$5 \mu\text{g}/\text{m}^3 < r \leq 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$r > 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$
	Influence de l'humidité relative (15% et 80%) à 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\text{Écart} \leq 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$10 \mu\text{g}/\text{m}^3 < \text{Écart} \leq 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$\text{Écart} > 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$
	Dérive à zéro à 3 semaines	$d_{\text{zéro}} \leq 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$5 \mu\text{g}/\text{m}^3 < d_{\text{zéro}} \leq 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$d_{\text{zéro}} > 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$
	Dérive au point échelle (PE) à 3 semaines (à 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$d_{\text{PE}} \leq 10 \%$	$10\% < d_{\text{PE}} \leq 15 \%$	$d_{\text{PE}} > 15 \%$
TERRAIN	Reproductibilité ($u(\text{bs},s)$)	$u(\text{bs},s) < 7,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$u(\text{bs},s) < 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$u(\text{bs},s) < 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$
	Pente	$0,7 \leq p \leq 1,3$	$0,5 \leq p < 0,7$ ou $1,3 < p \leq 1,5$	$p < 0,5$ ou $p > 1,5$
	Linéarité	$R^2 \geq 0,75$	$0,5 \leq R^2 < 0,75$	$R^2 < 0,5$
	MAPE	$< 50\%$	de 50% à 100%	$> 100\%$
DIR 2008/50/EC	Saisie minimale de données	$\geq 90 \%$	de 14% à 90%	$< 14\%$
	Incertitude terrain (DQO@ 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$U \leq 50\%$ ($U \leq 25\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$50 < U \leq 100\%$ ($25 < U \leq 50\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$100 < U \leq 200\%$ ($50 < U \leq 100\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Tableau 9 : Coefficients de validation pour le PM_{2.5} - Source, Air Quality Sensor & CEN/TC264/WG42

Les mesures collectées de Février à Juin sont disponibles ci-dessous :

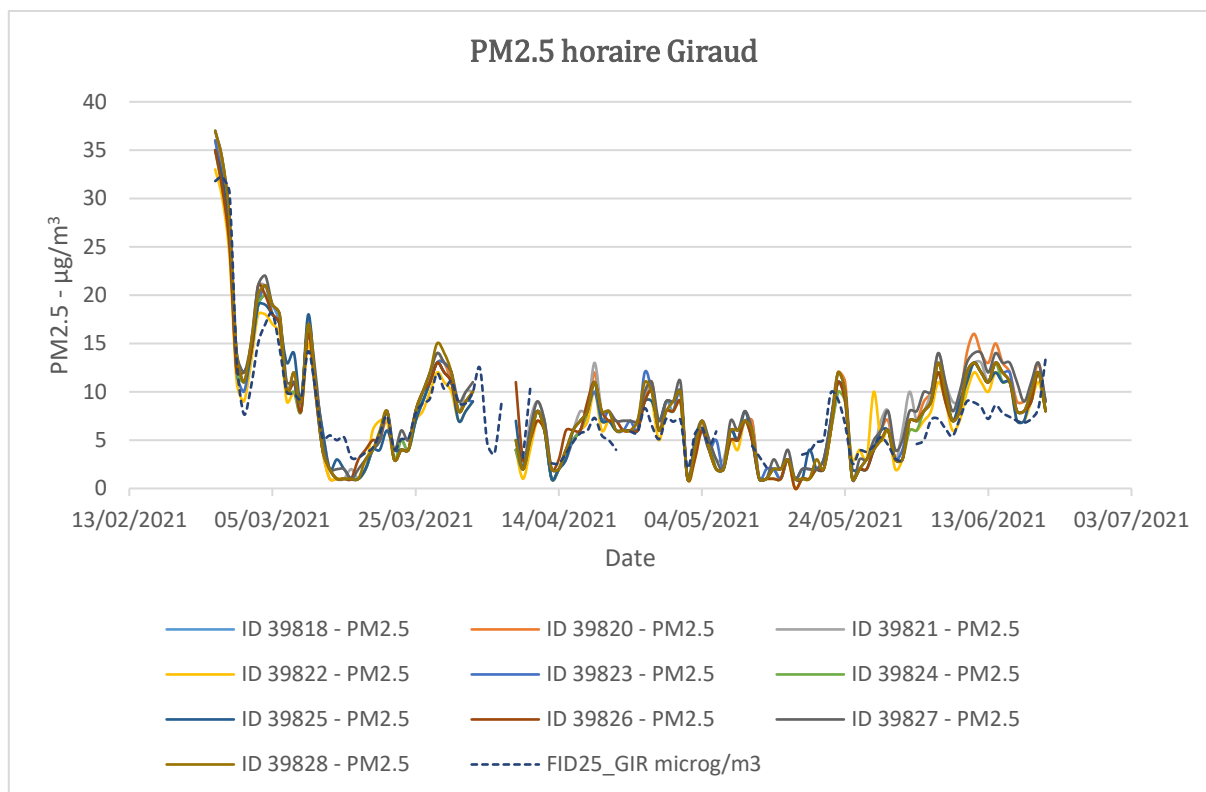


Figure 34 : Comparaison mesures PM_{2.5} – St fixe Giraud / µCapteurs Airly

Caractéristiques	ID 39818 - PM1	ID 39820 - PM1	ID 39821 - PM1	ID 39822 - PM1	ID 39823 - PM1	ID 39824 - PM1	ID 39825 - PM1	ID 39826 - PM1	ID 39827 - PM1	ID 39828 - PM1
Pente	1,26	1,38	1,26	1,22	1,28	1,20	1,24	1,28	1,37	1,30
OO	-1,62	-1,29	-0,87	-1,01	-1,12	-0,97	-0,72	-0,85	-0,81	-1,28
R ²	0,92	0,85	0,87	0,83	0,86	0,89	0,85	0,87	0,87	0,89
Caractéristiques	ID 39818 - PM2.5	ID 39820 - PM2.5	ID 39821 - PM2.5	ID 39822 - PM2.5	ID 39823 - PM2.5	ID 39824 - PM2.5	ID 39825 - PM2.5	ID 39826 - PM2.5	ID 39827 - PM2.5	ID 39828 - PM2.5
Pente	1,16	1,22	1,20	1,05	1,15	1,14	1,15	1,13	1,21	1,22
OO	-1,26	-0,93	-0,51	-0,52	-0,65	-0,80	-0,61	-0,55	-0,31	-0,97
R ²	0,91	0,82	0,85	0,84	0,85	0,85	0,85	0,83	0,84	0,86
MAPE	9%	9%	11%	4%	6%	5%	6%	5%	16%	9%
Caractéristiques	ID 39818 - PM10	ID 39820 - PM10	ID 39821 - PM10	ID 39822 - PM10	ID 39823 - PM10	ID 39824 - PM10	ID 39825 - PM10	ID 39826 - PM10	ID 39827 - PM10	ID 39828 - PM10
Pente	0,56	0,55	0,58	0,50	0,55	0,50	0,53	0,50	0,55	0,61
OO	3,95	4,38	5,02	4,21	4,83	4,30	4,53	4,66	5,62	4,70
R ²	0,67	0,55	0,59	0,62	0,62	0,58	0,59	0,56	0,57	0,63
Caractéristiques sans DUST	ID 39818 - PM10	ID 39820 - PM10	ID 39821 - PM10	ID 39822 - PM10	ID 39823 - PM10	ID 39824 - PM10	ID 39825 - PM10	ID 39826 - PM10	ID 39827 - PM10	ID 39828 - PM10
Pente	1,41	1,60	1,58	1,28	1,44	1,39	1,45	1,42	1,56	1,57
OO	-6,05	-7,40	-6,19	-4,59	-5,10	-5,67	-5,74	-5,68	-5,72	-6,08
R ²	0,64	0,52	0,56	0,55	0,60	0,56	0,57	0,52	0,55	0,60

Tableau 10 : Résultats régression linéaire pour les capteurs Airly en comparaison avec la station fixe Giraud

ID	ID lieu	Pente	R ²	Ordonnée Origine
5993	80752	1,22	0,82	-0,93
6063	39821	1,21	0,85	-0,51
6070	39822	1,05	0,84	-0,52
6076	39823	1,15	0,85	-0,65
6082	39824	1,14	0,85	-0,8
6109	80788	1,15	0,85	-0,61
6115	80727	1,13	0,83	-0,55
6152	80724	1,21	0,84	-0,31
6436	80789	1,22	0,86	-0,97

Tableau 11 : Données régression linéaire pour μ Capteurs PM (évaluation sur les PM2.5)

Les résultats montrent une très bonne réactivité pour les PM1 et PM2.5, avec des pentes en moyenne à 1,25. L'ordonnée à l'origine est suffisamment proche de zéro pour être validée.

En ce qui concerne les PM10, les coefficients sont moins probants. Les calculs ont été faits avec et sans prendre en compte l'épisode de particules fines du Sahara survenu durant la période. Les capteurs photosensibles des micro-capteurs ont plus de difficulté à mesurer des grains de sable comme ceux-là, d'où la différence.

Le choix de la répartition des capteurs sur Ajaccio et Bastia s'est fait principalement en se basant sur les résultats du PM2.5. Les capteurs à proximité immédiate du port sont ceux avec les meilleurs coefficients de pente / R². Les capteurs 6070 pour Giraud (Bastia) et 6115 pour Canetto (Ajaccio) ont été désignés comme les plus efficaces, et dès lors utilisés comme références.

V.1.2 Reproductibilité Agriscope – NO₂

Après la réception des micro-capteurs Agriscope NO₂ en février 2021, une étape de comparaison avec des données de référence a été mise en place jusqu'en juin 2021 au niveau des stations de mesure du Fango et Canetto.

Les 12 capteurs ont été répartis en deux lots, une moitié au Fango, l'autre à Canetto, afin de comparer sur deux sites les valeurs mesurées entre les capteurs d'un même lot (répétabilité) et avec celle de l'analyseur NO_x sur place (justesse).

La méthode pour évaluer la pertinence des résultats se base sur une méthode de régression linéaire pour tracer une courbe de corrélation, et en sortir des coefficients révélateurs de la performance des micro-capteurs (pente, R², coefficient à l'origine).

Un échantillon de résultats sur une semaine est visible ci-dessous pour les deux sites de mesure. Les données peuvent être récupérées en base horaire ou quart-horaire. La mesure de référence est identifiée par NO2FAN ou NO2CAN, en gras sur les courbes.

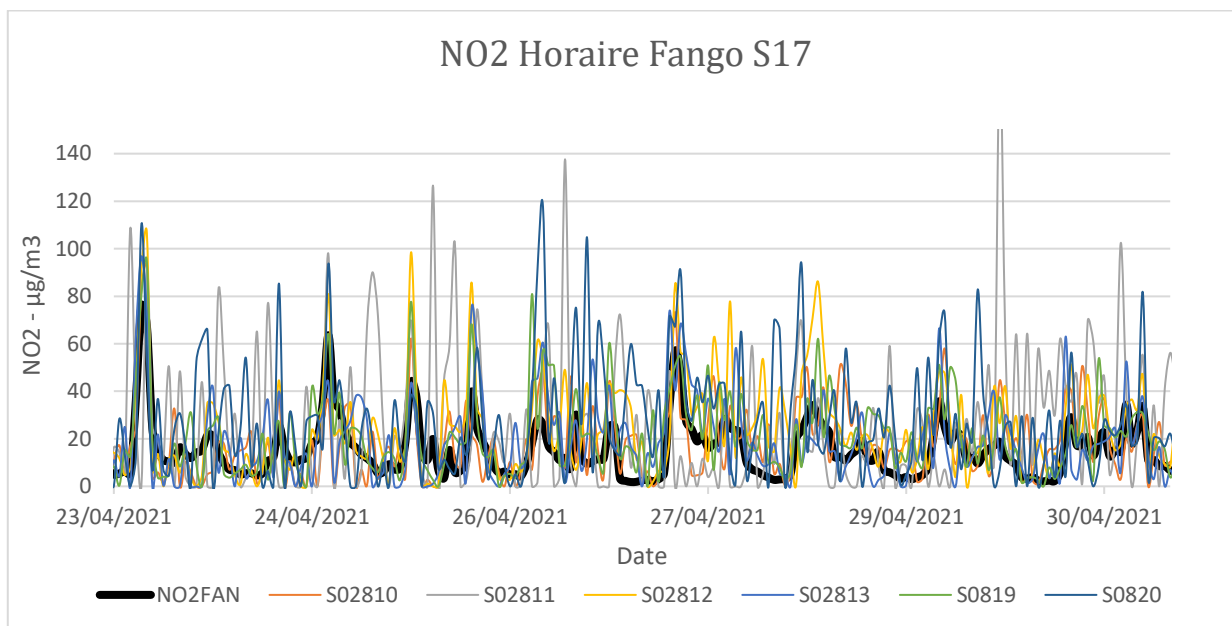


Figure 35 : Comparaison mesures NO₂ – St fixe Fango / µCapteurs Agriscope

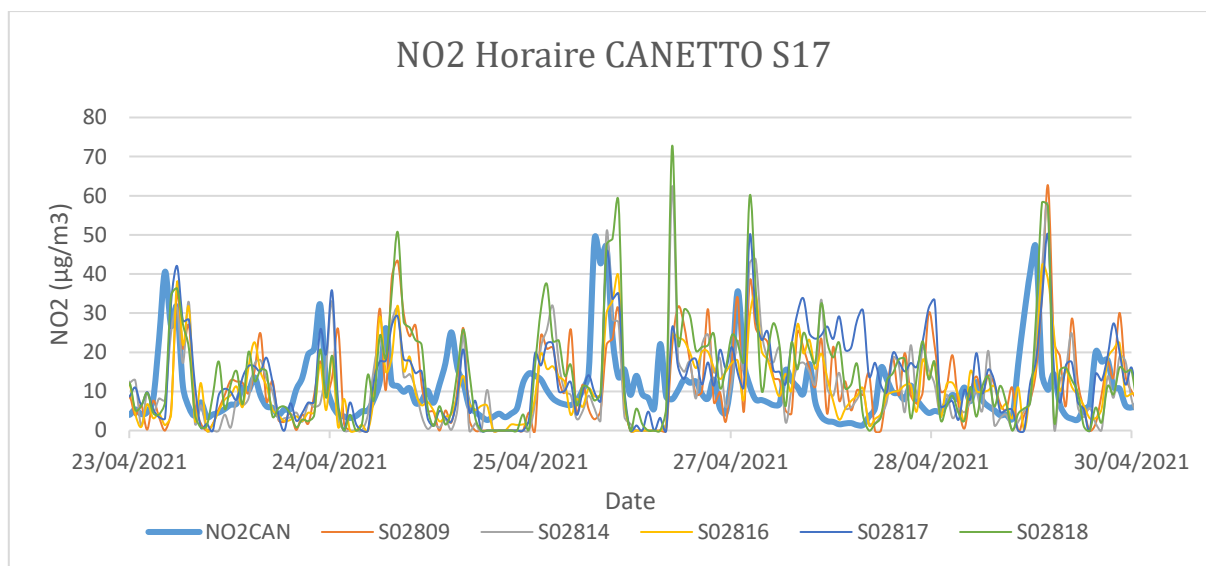


Figure 36 : Comparaison mesures NO₂ – St fixe Canetto / µCapteurs Agriscope

En fonction du site, on peut apercevoir des tendances différentes. Les mesures sur Canetto suivent relativement bien la mesure de référence, avec des oscillations supplémentaires s'apparentant à du bruit. Celles sur le Fango en revanche ont beaucoup plus de bruit en grandes amplitudes, similaires pour chaque capteur.

Afin de classer les résultats, il est intéressant de hiérarchiser les capteurs en fonction des critères ci-dessous établis par le protocole d'évaluation des systèmes capteurs pour la mesure de la qualité de l'air ambiant en point fixe.

Le fournisseur Agriscope a été recontacté afin d’obtenir des explications sur de tels écarts, et il semblerait qu’un mauvais coefficient usine ait été configuré sur certains capteurs. Après mise à jour, les valeurs sont ensuite compilées via l’outil d’équivalence, les résultats sont les suivants :

Fango	Capteur						
	S02810	S02811	S02812	S02813	S02819	S02820	S2815
Pente	1,05	6,61	1,69	1,44	1,40	3,86	N/A
OO	-0,48	-72,40	-5,60	-2,78	-3,39	-32,43	N/A
R ²	0,22	0,07	0,48	0,31	0,50	0,09	N/A

Canetto	Capteur				
	S02809	S02814	S02816	S02817	S02818
Pente	1,29	1,40	1,02	1,23	1,60
OO	-2,37	-3,47	0,31	0,37	-3,49
R ²	0,38	0,48	0,32	0,45	0,51

Tableau 12 : Résultats régression linéaire NO₂

Les résultats montrent une très grande disparité entre les capteurs et le classement change en fonction du paramètre choisi (pente / Ordonnée à l’origine / R²). Certains ont une justesse acceptable (pente aux alentours de 1) mais un coefficient de linéarité très faible (~0).

Dès lors, il a fallu établir un critère principal, puis secondaire pour hiérarchiser les capteurs. La pente est ainsi le premier, R² le second puis l’ordonnée à l’origine finit la répartition.

Le choix de la répartition des capteurs sur Ajaccio et Bastia s’est fait principalement en se basant sur les résultats de pente. Les capteurs à proximité immédiate du port sont ceux avec les meilleurs coefficients de pente / R². Les capteurs 2819 pour Fango (Bastia) et 2817 pour Canetto (Ajaccio) ont été désignés comme les plus efficaces, et dès lors utilisés comme références.



Figure 37 : Comparaison μ Capteurs NO₂ avec station de référence Canetto

ID	ID lieu	Ville	Lieu	Pente	R ²	OO	DATE	Statut AER
2809	AJA Hôpital	AJACCIO	App. Gilles	1,29	0,38	-2,37	28/06/2021	OK
2810	BIA Collège Simon	BASTIA	Collège Simon Vinciguerra	1,05	0,22	-0,48	08/07/2021	OK
2811	2811	CORTE	QC	6,61	0,07	-72,4	26/07/2021	NOK
2812	AJA Local Accès	AJACCIO	Local Accès	1,69	0,48	-5,6	03/08/2021	OK
2813	BIA Capitainerie SUD	BASTIA	Capitainerie SUD BIA	1,44	0,31	-2,78	01/07/2021	OK
2814	AJA Capitainerie SUD	AJACCIO	Capitainerie SUD AJA	1,4	0,48	-3,47	05/08/2021	OK
2815	BIA Eglise Madonna	BASTIA	App. JC				01/07/2021	OK
2816	AJA Gare Maritime	AJACCIO	Toit Gare Maritime	1,02	0,32	0,31	03/08/2021	OK
2817	AJA Canetto	AJACCIO	CANETTO	1,23	0,45	0,37	21/05/2021	OK
2818	BIA Pylône 7	BASTIA	Pylône 7 BIS	1,6	0,51	-3,49	06/08/2021	OK
2819	BIA Fango	BASTIA	FANGO	1,4	0,5	-3,39	21/05/2021	OK
2820	BIA Toit Mairie	BASTIA	Toit Mairie	3,86	0,09	-32,43	26/07/2021	OK

Tableau 13 : Résultats Coefficients de régression linéaire NO₂

Le capteur 2811 a été jugé beaucoup trop peu performant car éloigné de tous les critères de sélection et dès lors écarté en début d'étude. Le capteur 2815 a été renvoyé durant la phase de calibration et n'a été reçu qu'au moment de placer les capteurs sur site, il n'a donc pas de coefficients calculés.

V.1.3 Reproductibilité Ellona – PM, NO₂, SO₂

Dans le cadre d'un partenariat avec l'entreprise Ellona et afin d'approfondir les connaissances, il a été jugé intéressant d'étudier le transfert de la pollution extérieure vers la pollution intérieure. Ainsi, un total de 8 capteurs a été prêté durant la période estivale 2022 par Ellona, quatre capteurs air extérieur (WT1 – PM_x / NO₂ / SO₂ / T°C / HR / infos diverses d'environnement) ainsi que quatre capteurs air intérieur (POD2 – PM_x / NO₂ / SO₂ / T°C / HR / infos diverses). Ils forment alors quatre couples de micro-capteurs, et ont été installés sur Ajaccio et Bastia.

Lieux		Capteur Intérieur	Capteur Extérieur
Ajaccio	Hôpital Ajaccio	POD2-00693	WT1-30143
	Capitainerie Tino Rossi Ajaccio	POD2-00692	WT1-30142
Bastia	Mairie Bastia	POD2-00200	WT1-30144
	Capitainerie Vieux Port Bastia	POD2-00690	WT1-30145

Tableau 14 : Identifiants et Emplacements des capteurs Ellona

Avant leur installation, un essai de reproductibilité a été réalisé au niveau de la station fixe de Giraud afin de tester les comportements des capteurs et de les comparer entre eux / avec les analyseurs de référence.



Figure 38 : Capteurs extérieurs Ellona en reproductibilité sur Giraud, Bastia



Figure 39 : Capteurs Intérieurs Ellona en reproductibilité à Qualitair Corse, Corte

Comparaison PM10 Quart Horaire - µCapteur WT1/Giraud

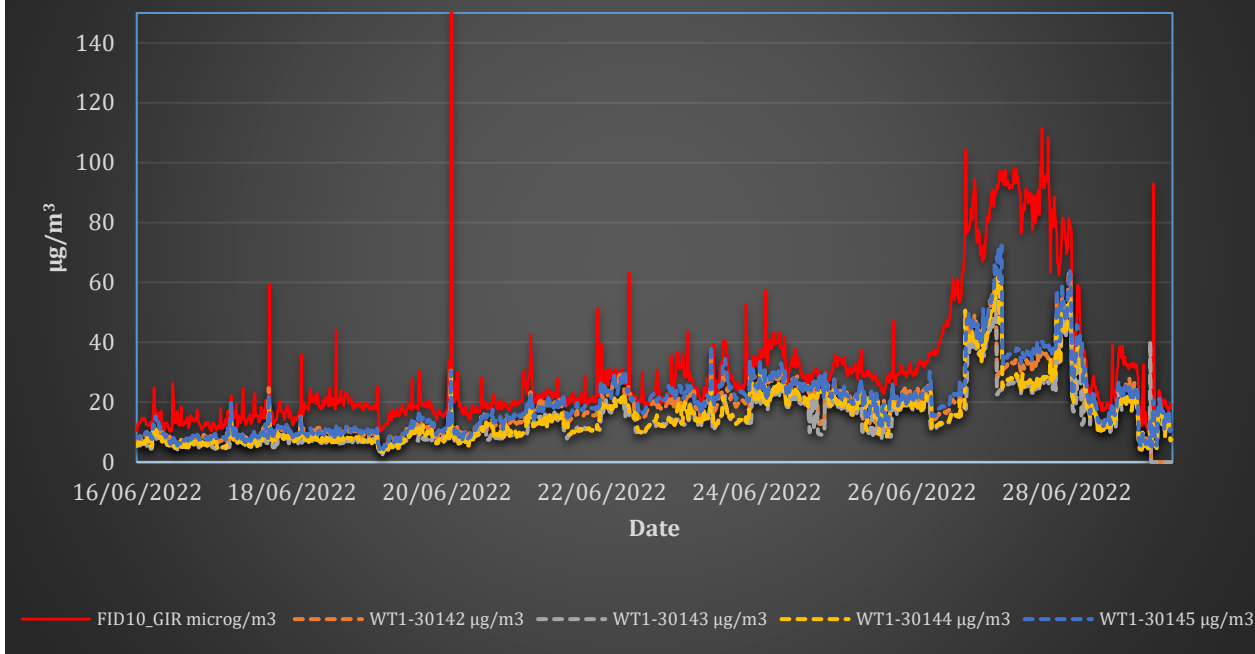


Figure 40 : Comparaison PM10 Ellona / Station de référence Giraud

Les résultats montrent une bonne reproductibilité des résultats entre les micro-captureurs, avec une tendance à la sous-évaluation de la mesure. De manière générale, la technologie PM des micro-captureurs a du mal à évaluer avec précision la concentration en particules plus grossières (notamment lors d'épisodes de pollution du Sahara, pendant lesquels le sable ramené est souvent mal interprété par les micro-captureurs).

Ellona semble montrer une bonne réactivité sur les PM. En ce sens, il se rapproche des capteurs Airly utilisés depuis la saison estivale 2021, ayant démontré une fiabilité jugée suffisante pour les besoins de l'étude.

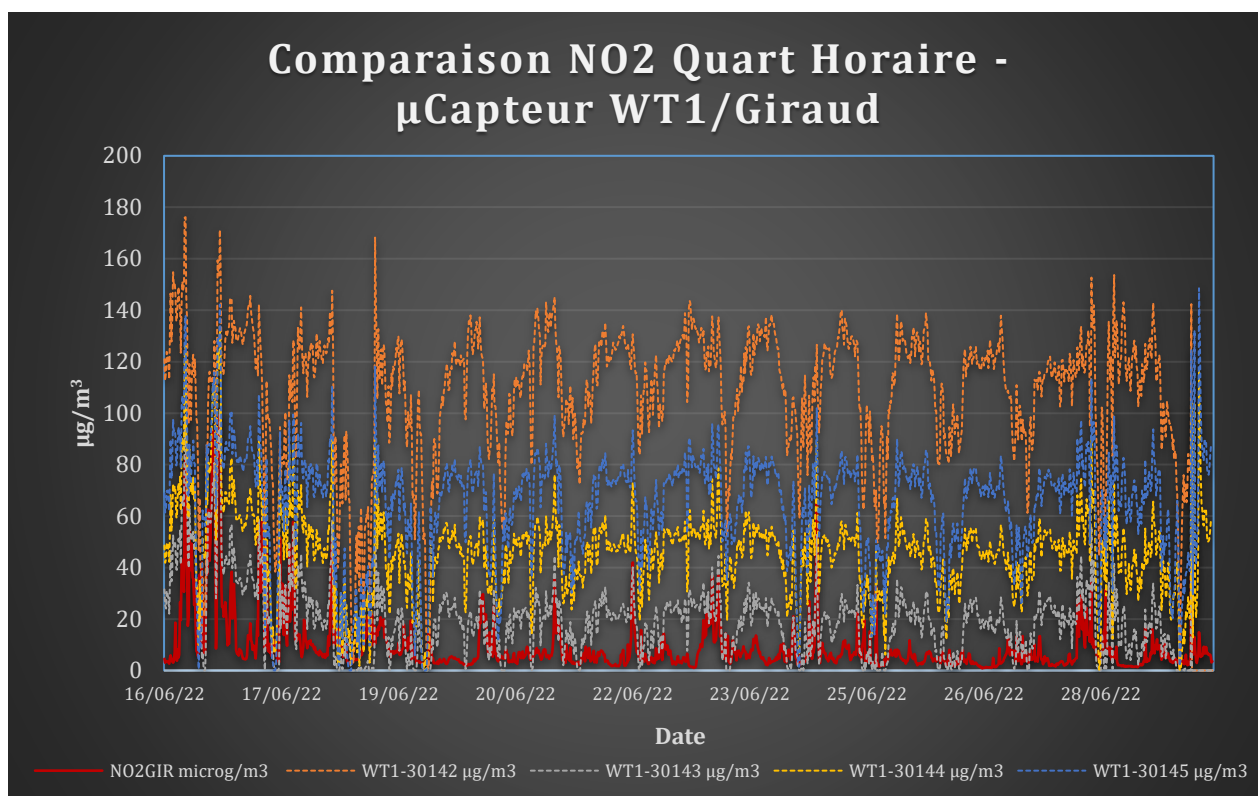


Figure 41 : Comparaison NO2 Ellona / Station de référence Giraud

Les résultats sont beaucoup moins éloquentes en ce qui concerne les mesures de dioxyde d'azote. En effet, aucun des capteurs ne semble mesurer la même valeur, réduisant ainsi l'indice de répétabilité. Cela est principalement dû à un problème de calibration de l'offset ainsi que du coefficient de pente. A noter que cela peut se corriger a posteriori avec le fournisseur.

L'essai reste tout de même étonnant en ce qui concerne la justesse de la mesure, les tendances n'étant pas du tout les mêmes (un pic mesuré par la station correspond à une chute au niveau des micro-capteurs). Il est alors approprié de se poser la question de la pertinence des mesures NO₂ et de leur future prise en compte lors de l'étude.

A titre de comparaison, le fournisseur Agriscope semble avoir également du mal à fournir un instrument fiable quant à la mesure du NO₂. Les problèmes ont été nombreux à tout point de vue (matériel, remontée et traitement des données, mesure...).

Le temps manquant à l'étude, il n'a pas été possible d'approfondir la calibration des capteurs Ellona en ce qui concerne le NO₂.

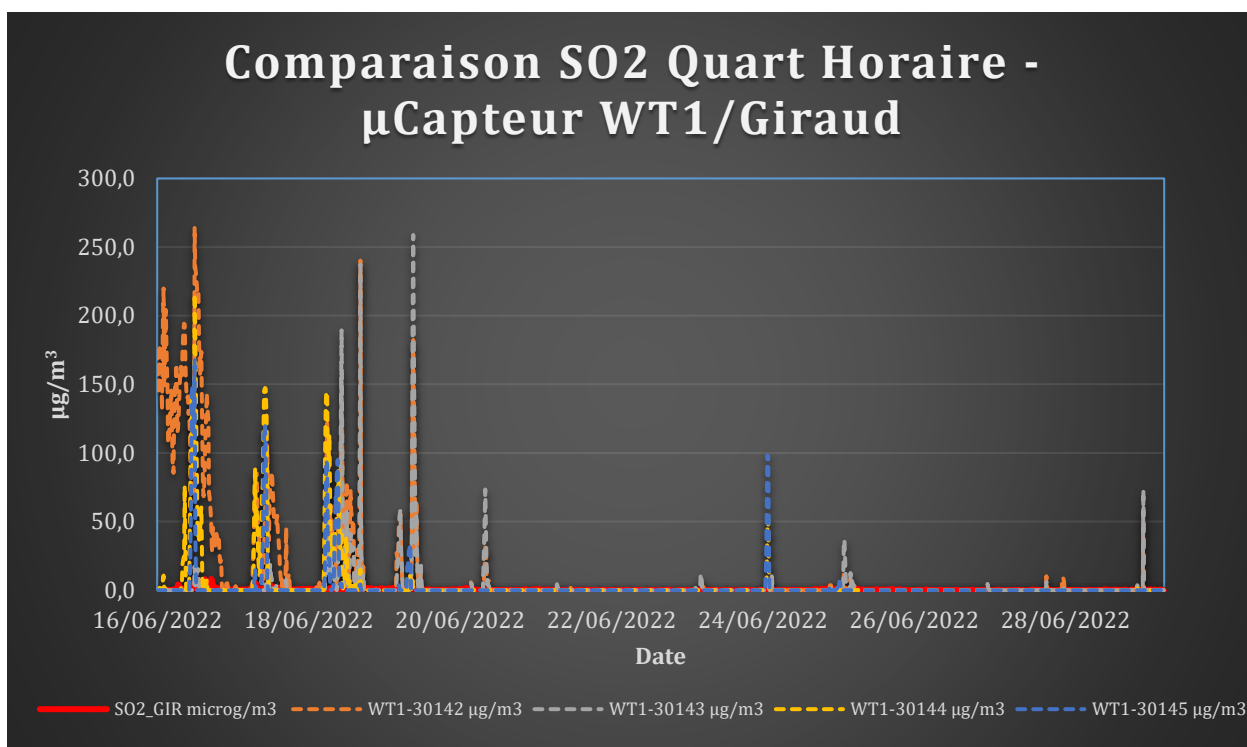


Figure 42 : Comparaison SO2 Ellona / Station de référence Giraud

Même constat en plus aggravé sur le SO₂, les capteurs semblent devoir avoir besoin de calibration excessive pour s'adapter à l'environnement. Après discussions avec le fournisseur, les coefficients ont pu être ajustés, et les mesures ont pu devenir légèrement plus pertinentes.

Pour conclure, les essais sur Ellona et Agriscope sont assez discutables dans la mesure où une calibration capteur par capteur se doit d'être effectuée régulièrement, sans garantie de résultat. La question de la précision, répétabilité et pertinence des résultats peut être posée, hors, le principal avantage de ce type de solution devrait être la capacité d'utiliser ces outils sans devoir y consacrer un temps précieux à s'adapter à chaque capteur (dans la mesure où une reproductibilité avec une station fixe est possible). Une fois le capteur installé, il devient impossible de s'assurer du « bon fonctionnement » de celui-ci.

L'objectif de ces micro-capteurs étant de pouvoir a minima donner une tendance de pollution, ce critère n'est pas atteint pour les gaz selon la campagne de mesure réalisée pour ce projet.

V.2 Concentration en dioxyde d'azote

Les données mesurées pour le NO₂ sur la période estivale 2021 sont tracées dans les graphes ci-dessous. Les mesures des stations fixes sont représentées par des pointillés. A noter que la station Canetto est sous influence urbaine, et celle d'Abbatucci de trafic. En moyenne journalière, les mesures varient autour de 20-30 µg/m³ à +/-10 µg/m³. On peut observer que les mesures au local accès et à la gare maritime donnent une tendance plus élevée avec un décalage progressif vers des valeurs plus hautes en septembre (jusqu'à un pic très important au niveau de la gare maritime). Ces valeurs peuvent être écartées, différant beaucoup trop du lot complet, et ne correspondant à aucune réalité sur terrain.

Les problèmes ont été nombreux quant à la calibration des micro-capteurs Agriscope pour le NO₂, ce qui avait été mis en évidence lors des essais de reproductibilité effectués juste avant pose sur site.

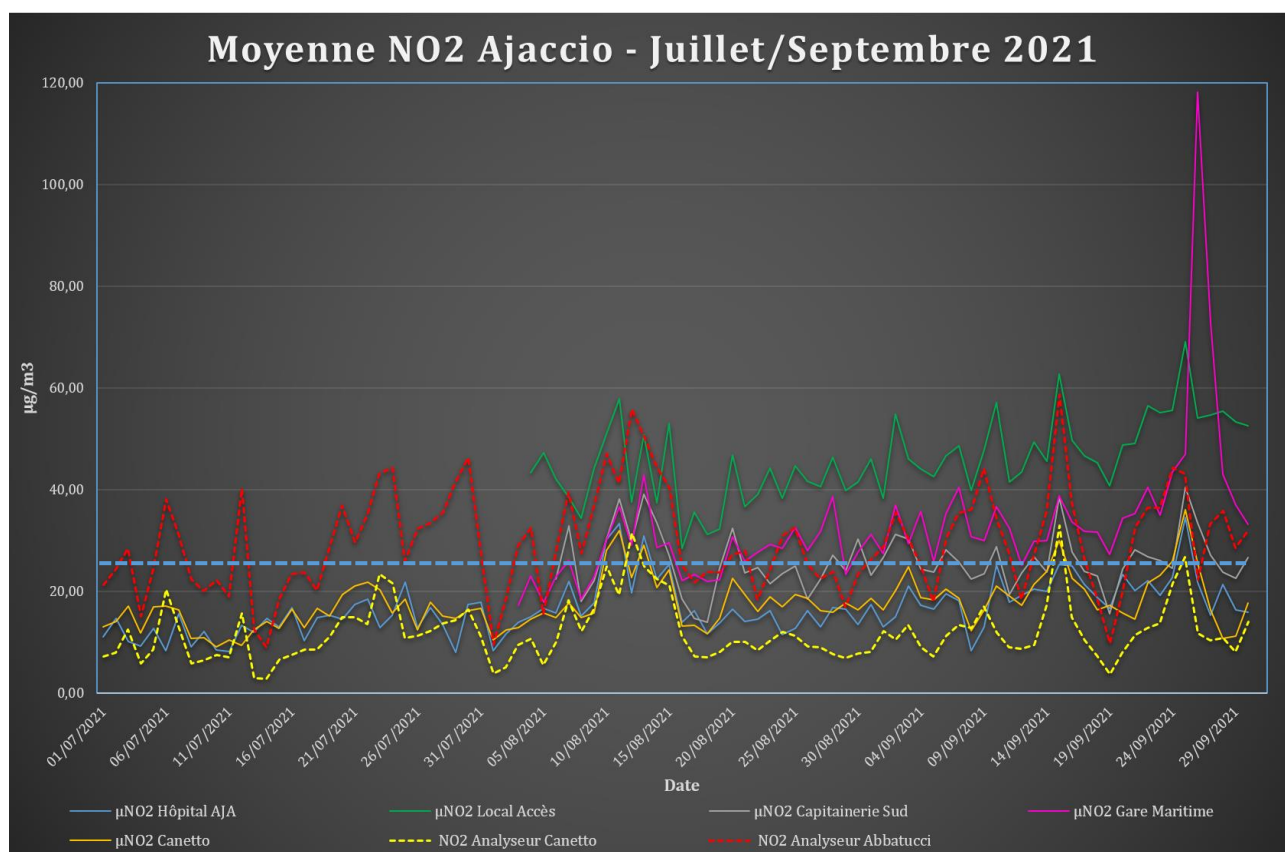


Figure 43 : Mesures Moyenne journalières NO₂ Ajaccio – Période Estivale 2021 – Micro-capteurs (µNO₂) et analyseurs (NO₂)

Seules les données des stations fixes sont calibrées et validées, pouvant donc mener à une vraie comparaison avec la ligne directrice fixée par l'OMS (en pointillé bleu sur le graphe). A noter toutefois que les 5 micro-capteurs NO₂ présents sur Ajaccio tendent à montrer que cette valeur est très souvent atteinte pour une moyenne journalière.

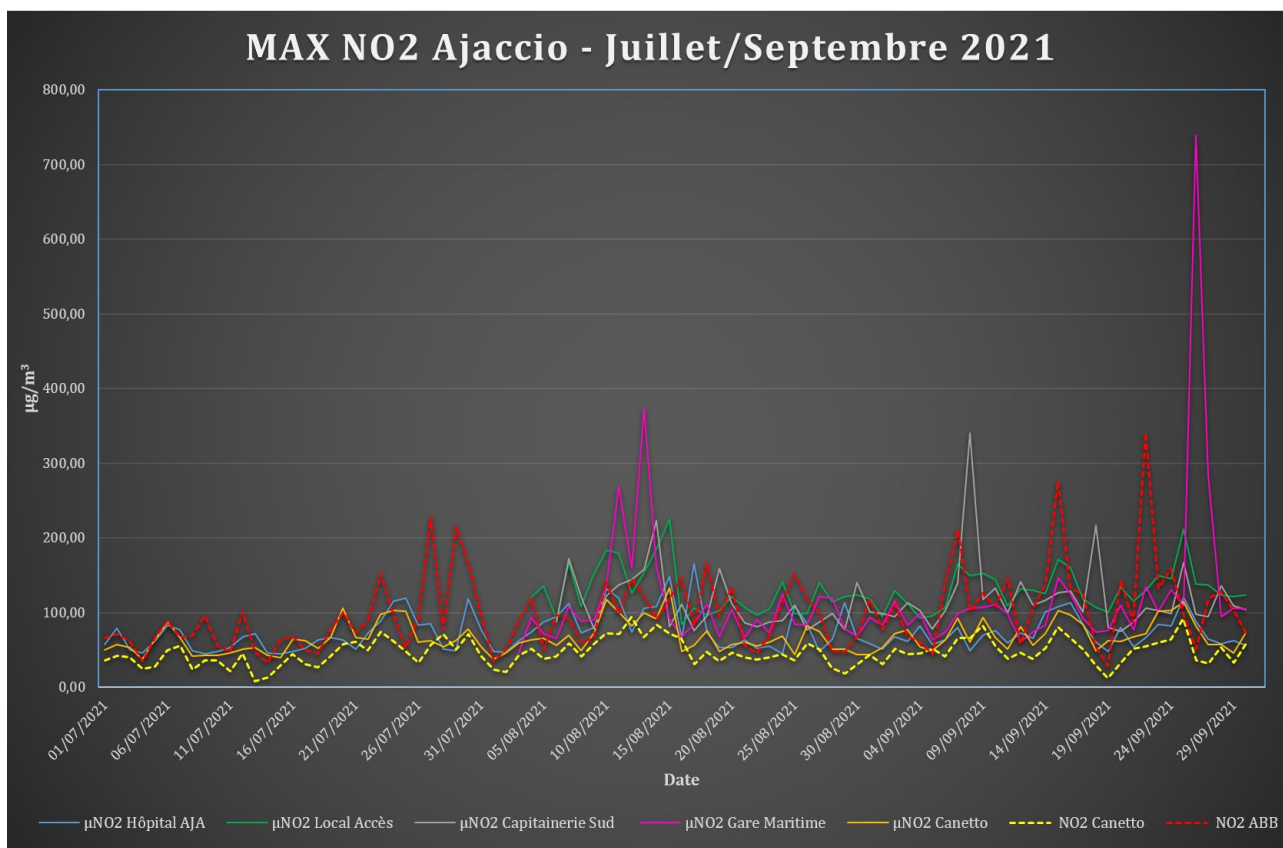


Figure 44 : Mesures Max journaliers NO₂ Ajaccio – Période Estivale 2021 – Micro-capteurs (µNO₂) et analyseurs (NO₂)

Les problèmes d’ajustement des micro-capteurs sont particulièrement mis en évidence en traçant les maximaux journaliers des valeurs NO₂. En effet, on peut voir sur le graphe précédent que le comportement du capteur situé à la gare maritime est particulièrement réactif aux montées de NO₂. Toutefois, le site étant nouveau, il est impossible d’acter avec certitude de combien varie la valeur réelle du résultat obtenu. Ces valeurs maximales surévaluées mènent alors à des calculs de moyenne biaisés, et ne peuvent alors pas être pris en compte en l’état vis-à-vis des performances exigées pour la mesurer.

Les tendances de pollution semblent être à peu près cohérentes, à quelques exceptions près, correspondant alors au but principal de ces micro-capteurs, à savoir être capables de quantifier la dispersion de polluants à travers la ville, et identifier les potentielles sources de pollution.

Les mesures des micro-capteurs NO₂ ne seront prises en compte qu’à titre d’indication lors de la modélisation, leur pertinence ayant trop souvent été mise en doute lors de l’étude.

Sur Bastia, six micro-capteurs NO₂ ont été positionnés, et les résultats sont assez pertinents pour la première saison estivale (les capteurs ont malheureusement mal vécu la proximité avec le milieu marin, et n'ont pas pu transmettre suffisamment de données fiables pour la saison 2022).

Ce qu'il en ressort, c'est qu'en moyenne, les résultats des moyennes journalières sont en dessous de la ligne directrice définie par l'OMS. La station temporaire ODT tend à montrer des dépassements très fréquents étant donné sa proximité trafic très prononcée. Aucune des autres mesures ne semble montrer une telle fréquence de dépassement, hormis les micro-capteurs placés au niveau du toit du collège Simon et du pylône 7 bis dans le port. Si les résultats sont interprétés tels quels, les valeurs sont relativement élevées et la position en hauteur de ces capteurs peut être un indice d'une potentielle pollution maritime (~ hauteur des cheminées de navires). Toutefois, il a été précisé plus haut que les capteurs Agriscope n'ont pas montré de très bonnes capacités à répéter une mesure commune, et ces mesures sont donc à traiter avec parcimonie.

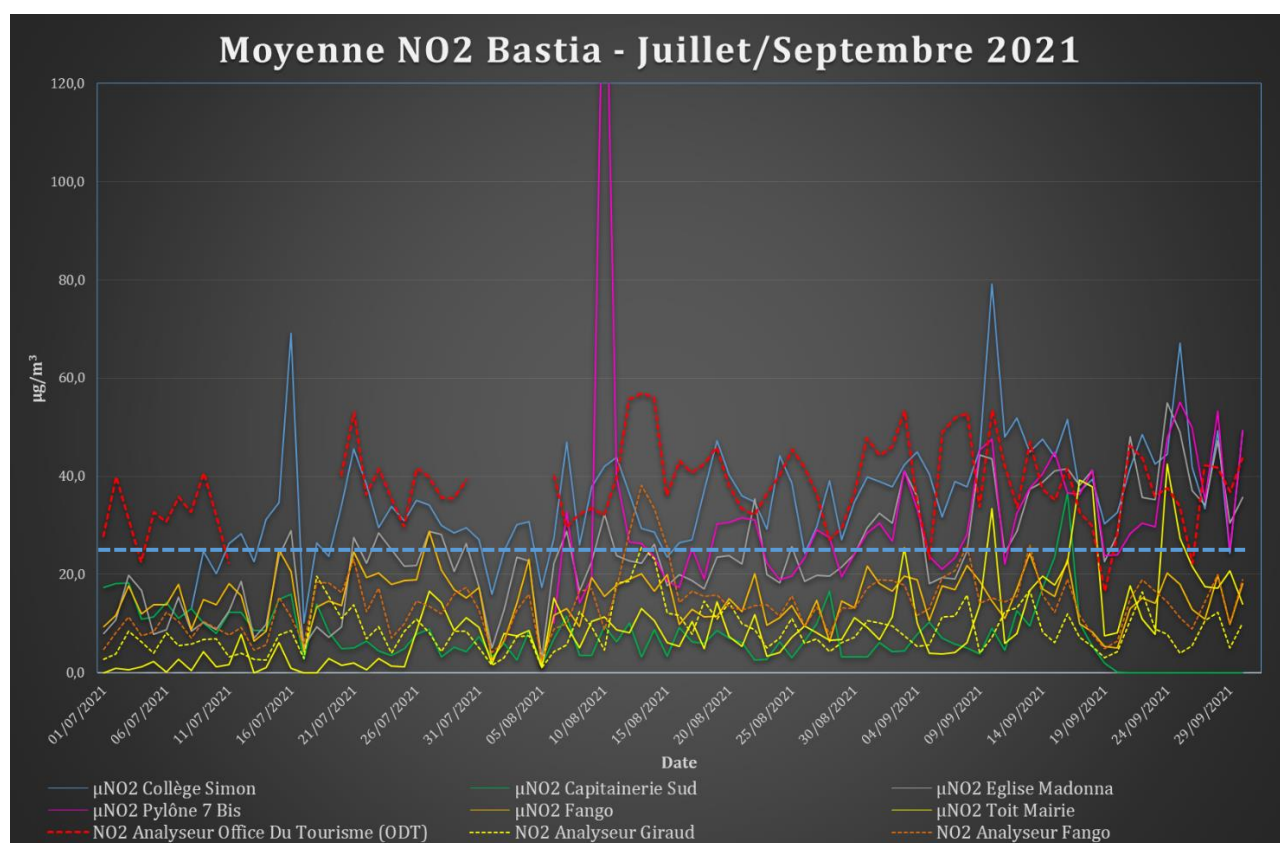


Figure 45 : Mesures Moyenne journalières NO₂ Bastia – Période Estivale 2021 – Micro-capteurs (µNO₂) et analyseurs (NO₂)

Un très bon exemple apparaît d'ailleurs aux alentours du 10 août avec une moyenne au niveau du pylône 7 bis de plus de 160 µg/m³ qui ne sont reprise par aucun autre capteur même de ceux à proximité (Eglise Madonna, Toit Mairie)...

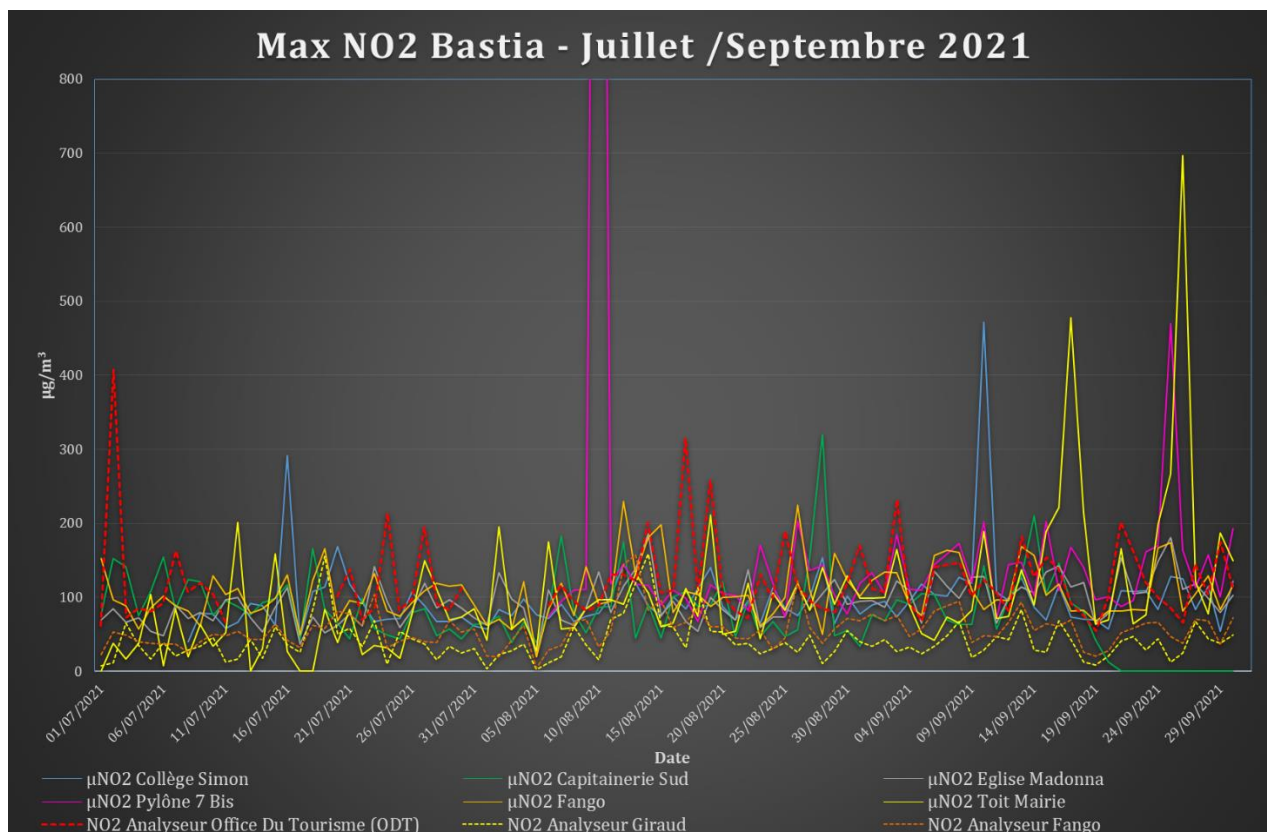


Figure 46 : Mesures Max journaliers NO₂ Bastia – Période Estivale 2021 – Micro-capteurs (µNO₂) et analyseurs (NO₂)

Cela se retrouve également dans la mesure des maxima, avec un pic à plus de 2500µg/m³ ne représentant aucunement la réalité sur terrain. La station ODT présente toutefois une certaine tendance aux valeurs hautes sur Bastia. Mais tous les emplacements choisis pour l'étude ne sont pas autant sensibles à la pollution issue du trafic.

Certains pics à hauteur conséquente ~20m (Collège Simon, Toit Mairie, Pylône 7 bis) sont intéressants et peuvent se révéler pertinents si liés à des mesures de SO₂ corrélées. La suite de l'étude permettra de clarifier ces points.

V.3 Concentration en particules fines

La même méthode a été suivie afin de comparer les mesures des micro-capteurs à celles des stations fixes et mobiles. La pollution aux particules fines est principalement due au trafic (routier, maritime, industriel), mais aussi à tout ce qui relève de l'écobuage ou des incendies, les fumées engendrées par la combustion de végétaux (ou autre) étant une source importante de pollution. Les pics mesurés durant la période estivale 2021 sont des conséquences de différents épisodes de pollution sahariens / éruptions volcaniques et incendies (cf. [Profils journaliers](#)).

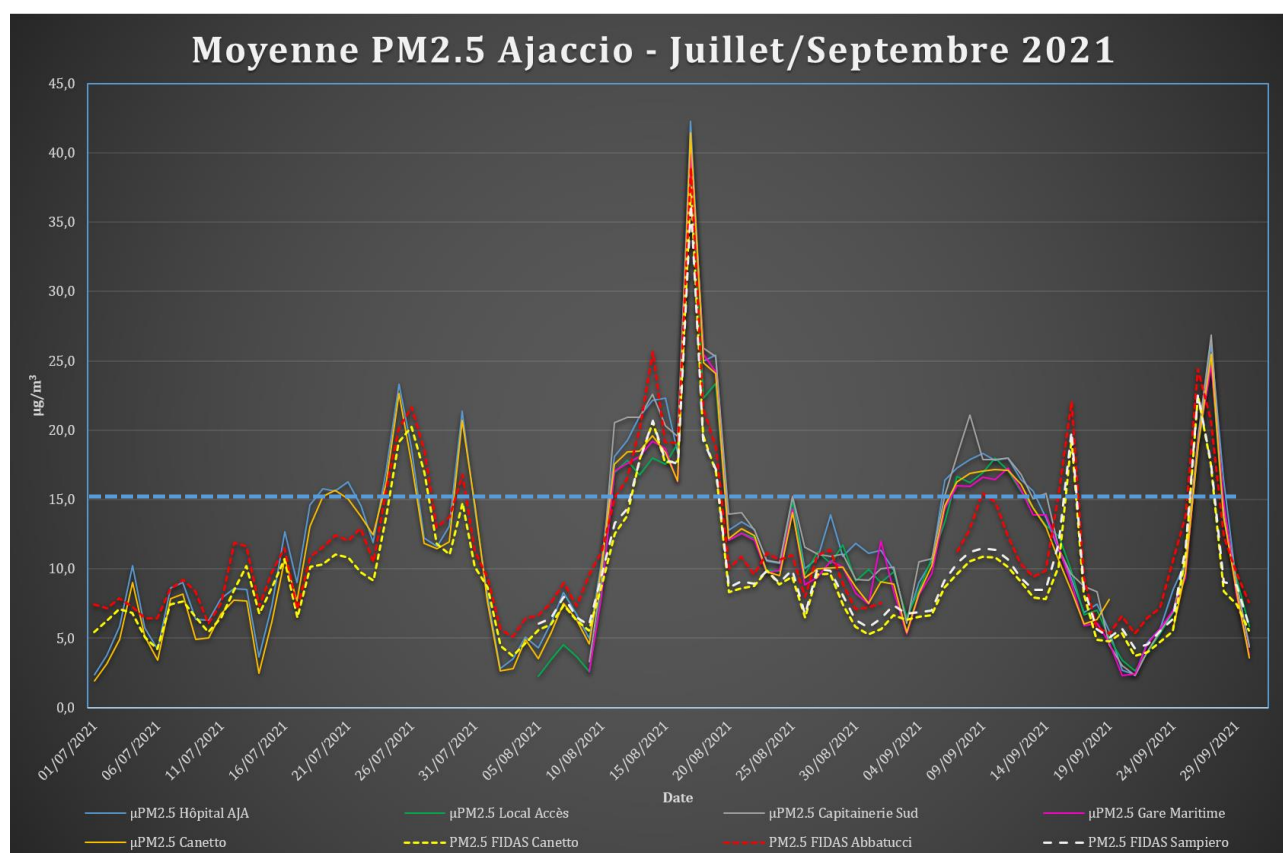


Figure 47 : Mesures moyennes journalières $PM_{2.5}$ Ajaccio – Période Estivale 2021 – Micro-capteurs ($\mu PM_{2.5}$) et analyseurs ($PM_{2.5}$)

De manière générale, les micro-capteurs réagissent plutôt bien à suivre les tendances de pollutions généraux, avec le défaut de surévaluer de temps à autre les valeurs de certains pics. L'intérêt de ces micro-capteurs se révèle particulièrement lors des épisodes de pollution, le transfert progressif est visible individuellement sur chaque capteur au fur et à mesure de la dispersion de l'épisode.

La limite fixée par l'OMS en moyenne journalière a été quelques fois dépassée, principalement lors des épisodes de pollutions aux particules sahariennes. Seul un dépassement début septembre ne semble pas être corrélé à un épisode particulier, rendant l'étude de recherche de sources intéressante.

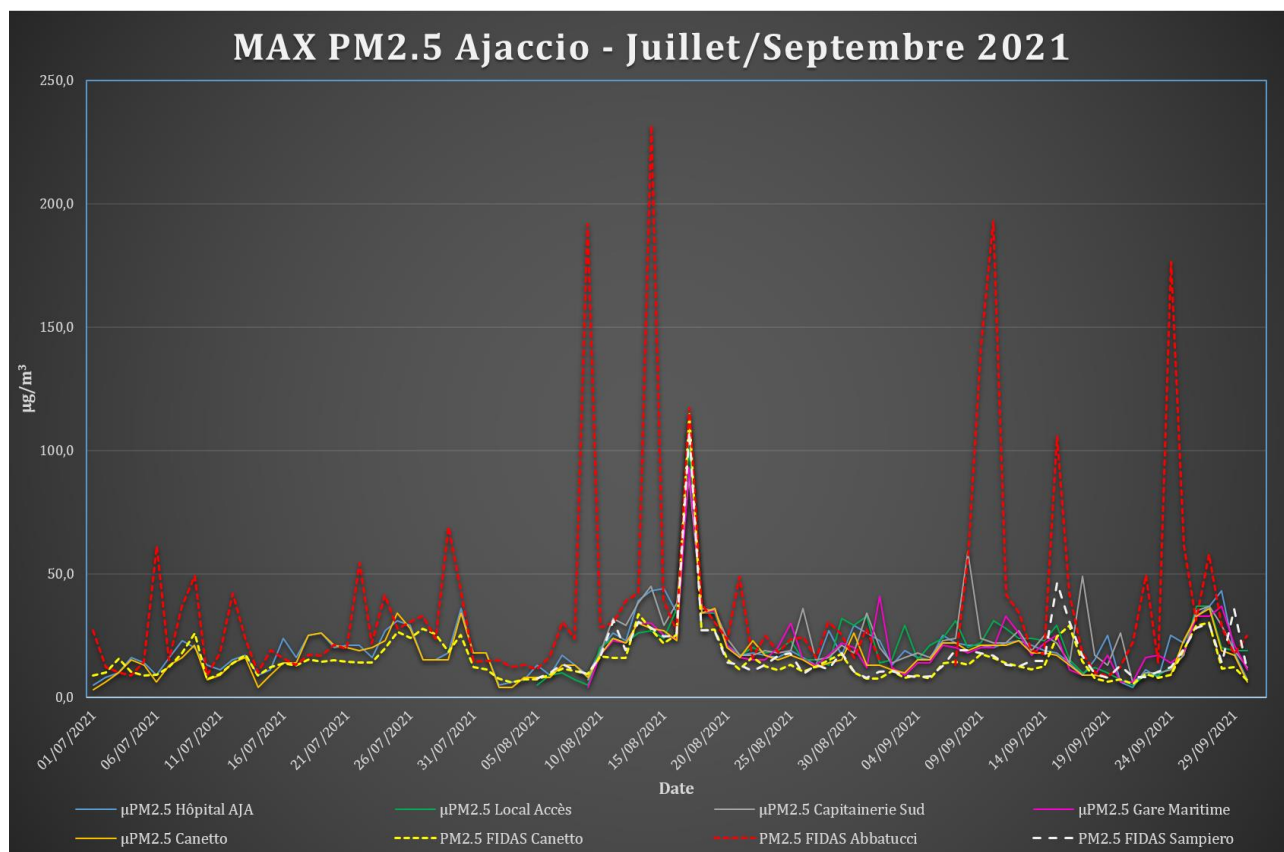


Figure 48 : Mesures Max journaliers $PM_{2.5}$ Ajaccio – Période Estivale 2021 – Micro-capteurs ($\mu PM_{2.5}$) et analyseurs ($PM_{2.5}$)

Concernant l'étude des maximaux obtenus durant cette période, plusieurs éléments sont à relever. On peut observer que durant l'épisode Dust + Incendie du Var aux alentours de mi-août 2021, toutes les mesures se sont accordées sur cette pollution généralisée à toute la ville. Cela prouve la capacité des micro-capteurs de retranscrire avec suffisamment de précision la réalité.

Deuxièmement, les valeurs les plus élevées proviennent de la station fixe Abbatucci, étant à proximité de travaux durant toute la saison, rendant les mesures difficilement exploitables pour l'étude AER NOSTRUM. Ces résultats peuvent être également observés en isolant les valeurs week-end/jours ouvrés, confirmant l'incidence des travaux sur les mesures. La station de Canetto et celle du parking Sampiero seront considérées comme étant plus pertinentes dans la recherche de sources de pollutions issues du maritime dans la suite de ce rapport.

Airly a su proposer un produit suffisamment réactif aux différentes variations de pollution en particules fines ($PM_{2.5}$), malgré quelques défauts à suivre les tendances des particules plus grossières ($>PM_{10}$, non représentées sur ce graphe), problème inhérent à la technologie optique des micro-capteurs.

Les valeurs $PM_{2.5}$ seront prises en compte lors de la modélisation, ayant prouvé une certaine fidélité de la réalité sur terrain.

A l'instar d'Ajaccio, les mesures sur Bastia sont cohérentes et à l'exception des particularités locales des sites, les micro-capteurs ont su suivre les tendances générales sur la ville. Les épisodes DUST de fin juillet, mi-août et mi-septembre apparaissent sur les graphes suivants. Une tendance à surévaluer les particules PM_{2.5} est à noter durant ces épisodes. En PM₁₀, comme évoqué précédemment, la technologie ne permet pas d'apprécier correctement les variations des particules plus grossières.

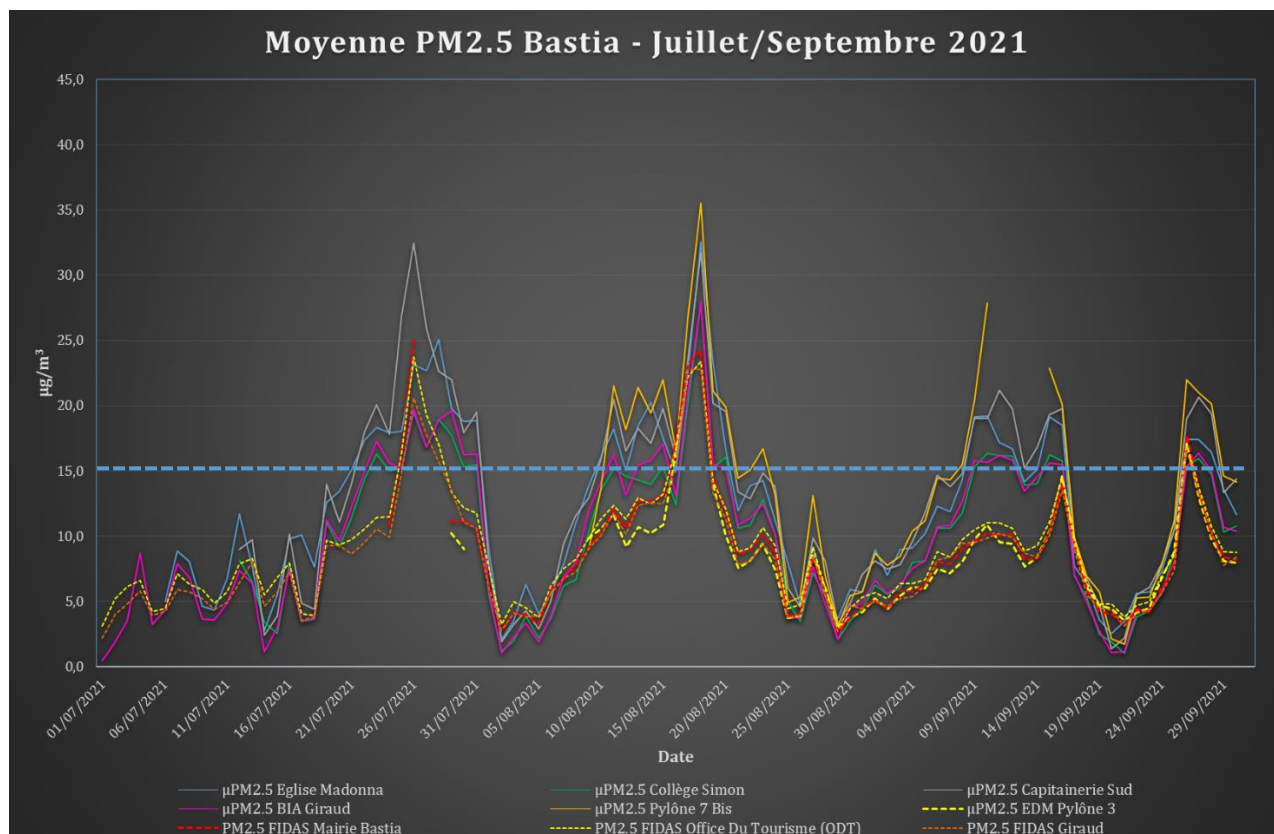


Figure 49 : Mesures moyennes journalières PM_{2.5} Bastia – Période Estivale 2021 – Micro-capteurs (µPM_{2.5}) et analyseurs (PM_{2.5})

Les dépassements de la ligne directrice OMS sont tous liés à des épisodes de pollution généralisés, et ne sont pas associés à une contribution exclusive du secteur maritime. Les stations fixes et mobiles n'ont toutefois pas dépassé cette ligne lors de l'épisode mi-septembre, tandis que tous les micro-capteurs s'accordaient à le faire.

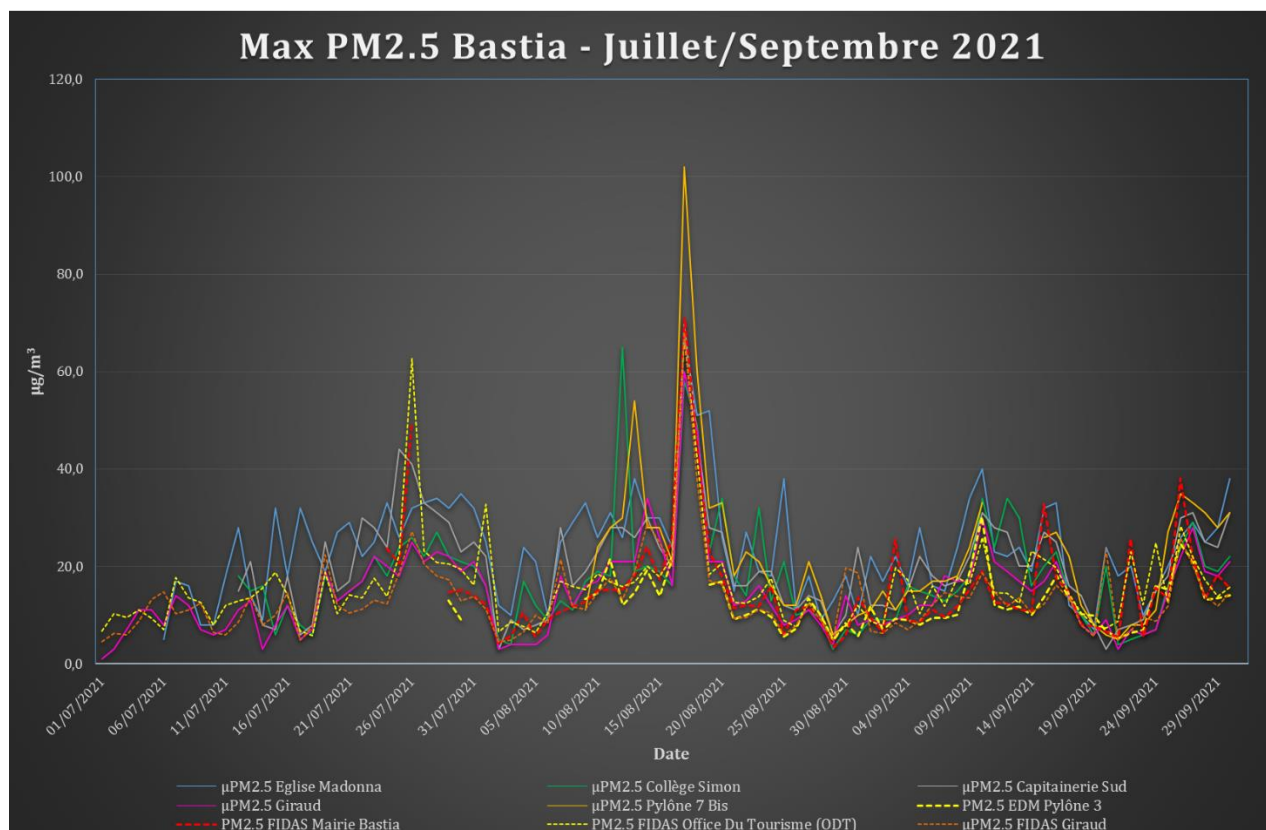


Figure 50 : Mesures Max journaliers PM_{2.5} Bastia – Période Estivale 2021 – Micro-capteurs (µPM_{2.5}) et analyseurs (PM_{2.5})

Parmi les micro-capteurs, celui situé « Eglise Madonna » semble faire état de mesures plus élevées que les autres. Il fait partie de ces capteurs situés le plus à proximité des navires à quai, et dans le régime de vent principal. Il témoigne d'une influence particulièrement importante de la part du maritime dans la pollution aux particules fines, avec parfois des valeurs plus hautes de 50% hors épisodes de pollution saharienne. La station FIDAS sur le toit de la mairie n'enregistre toutefois pas les mêmes dynamiques malgré une proximité géographique et similaire en hauteur avec ce capteur « Eglise Madonna ».

Les résultats peuvent être nuancés par le fait que ce capteur n'avait pas obtenu les meilleurs résultats par rapport aux autres capteurs Airly lors des tests de reproductibilité, sans toutefois présenter de mauvaises statistiques :

ID	ID lieu	Pente	R ²	Ordonnée Origine
5993	80752	1,22	0,82	-0,93

Tableau 15 : Données régression linéaire pour µCapteur PM (évaluation sur les PM_{2.5}) – Capteur placé ensuite au niveau d'Eglise Madonna

V.4 Transfert Pollution Extérieure / Intérieure – Etude période estivale 2022

Un pan particulièrement intéressant de l'étude s'est orienté vers l'étude du transfert de la pollution extérieure vers l'intérieur. C'est dans le cadre d'un partenariat avec le fournisseur Ellona que nous avons pu étudier l'impact de ce transfert extérieur / intérieur. Pour ce faire, 4 micro-capteurs extérieurs (WT1) et 4 micro-capteurs intérieurs (POD2) ont été répartis à 4 emplacements différents sur Ajaccio et Bastia (Tableau 14). On peut voir dans les graphes suivants que les concentrations en PM2.5 se suivent avec un décalage plus ou moins prononcé d'août à septembre 2022.



Figure 51 : Concentration en PM2.5 en extérieur (AW) et intérieur (AP) sur Ajaccio (Hôpital AJA – courbe du haut / Capitainerie Sud – courbe du bas)

Un pic de concentration peut être observé sur la période aux alentours de mi-septembre 2022. En effet, un épisode de pollution aux particules désertiques s'est déclaré du 15 au 17 septembre 2022, entraînant des dépassements de seuils réglementaires en particules fines. En étudiant cette période, on peut voir sur les courbes ci-dessous que le transfert se fait de manière atténuée lors d'épisodes, et la pollution se disperse légèrement moins vite qu'en air extérieur dû au renouvellement plus difficile de l'air en environnement clos.

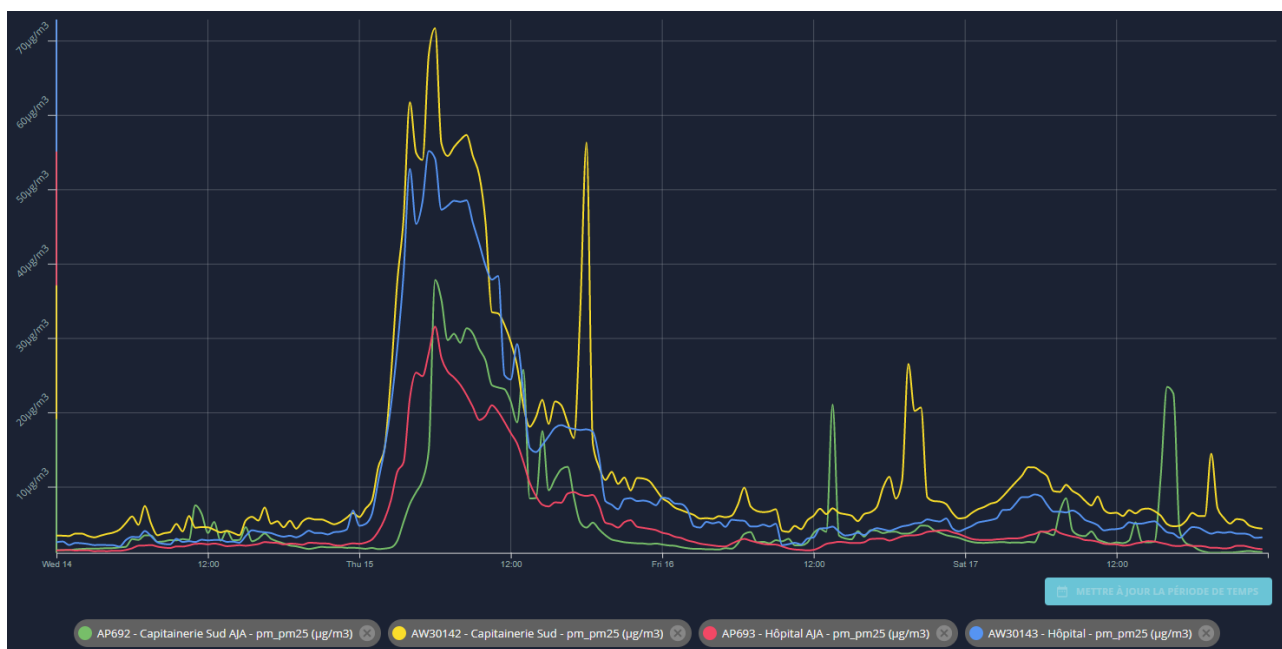


Figure 52 : Transfert de concentrations en PM2.5 sur Ajaccio entre l'air extérieur (AW30142 & AW 30143) vers l'air intérieur (AP692 & AP693)

Quelques pics de la part des capteurs intérieurs sont à noter, probablement liés à des événements locaux.

L'étude ne s'est en revanche pas poursuivie concernant le transfert de pollution du NO₂ et SO₂, les résultats n'étant pas exploitables tels quels, notamment concernant les ordres de grandeur des valeurs obtenues (ajustées après coup à partir de fin août) :

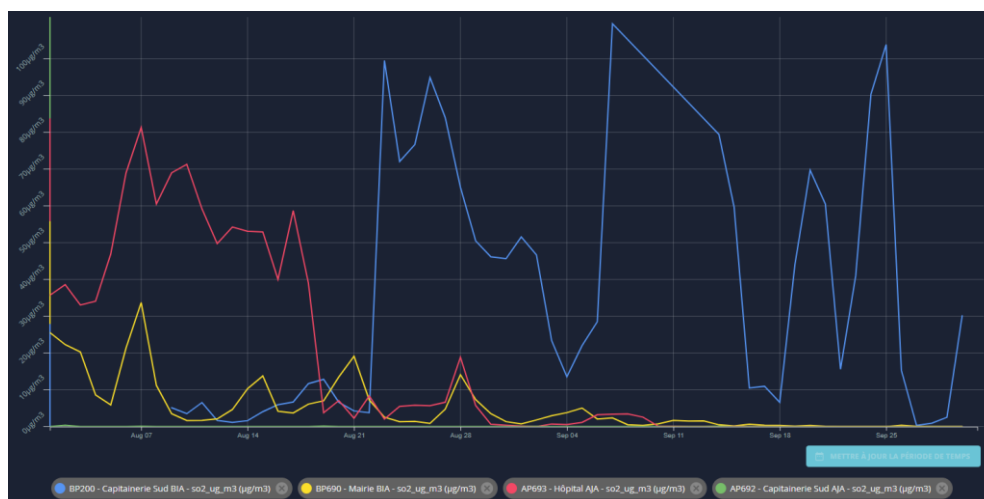


Figure 53 : Concentrations SO₂ en intérieur mesurées par Ellona (Ajaccio & Bastia) - Août/Septembre 2022

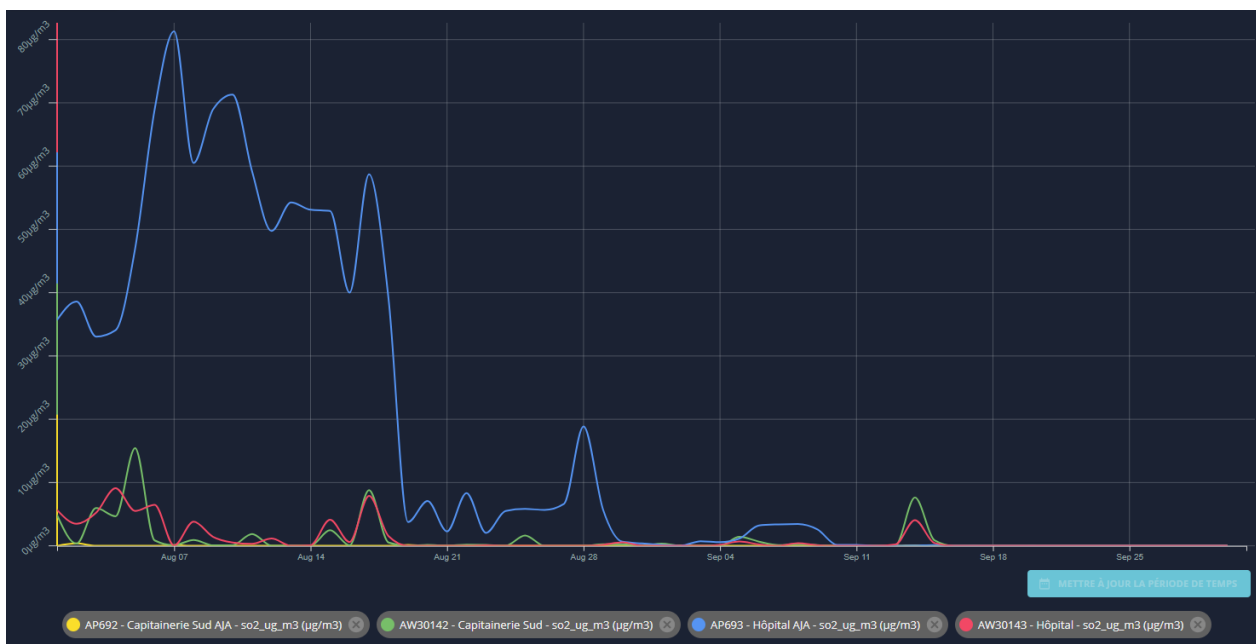


Figure 54 : Transfert concentrations en SO_2 obtenues sur Ajaccio (mesures Ellona en intérieur et extérieur) - Août/Septembre 2022

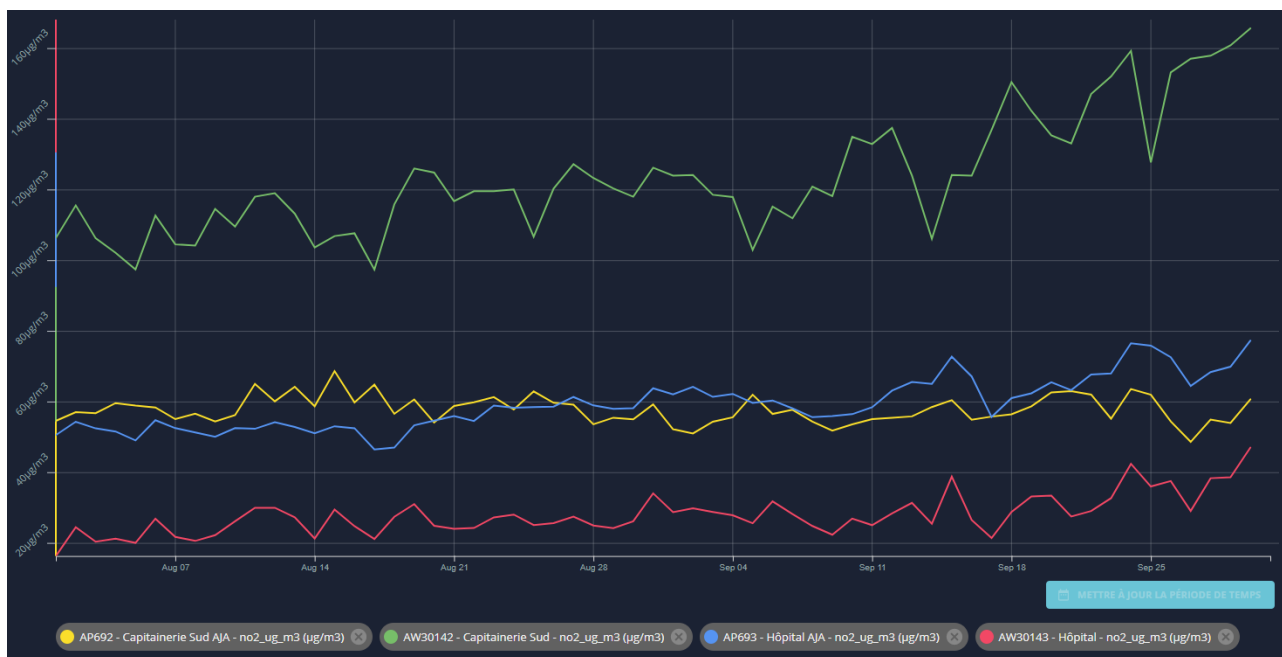


Figure 55 : Transfert concentrations en NO_2 obtenues sur Ajaccio (mesures Ellona en intérieur et extérieur) - Août/Septembre 2022

Les concentrations en NO_2 sur Ajaccio ne semblent pas retranscrire la réalité du terrain, et la différence entre les concentrations dans l'air extérieur ont une différence de l'ordre de la centaine de $\mu g/m^3$, attestant d'un problème d'offset et de coefficient. Le temps manquant à l'étude dans le cadre du projet AER NOSTRUM, il n'a pas été jugé pertinent de garder ces mesures de polluants gazeux par la suite.

VI. Recherche des sources

VI.1 Rose de pollutions des stations fixes

Un premier axe de recherche vise à vérifier les roses de pollution des stations fixes et mobiles en comparaison avec la station météo la plus proche. Cela permet de confirmer les axes de vent les plus propices à disperser les polluants principaux depuis les navires.

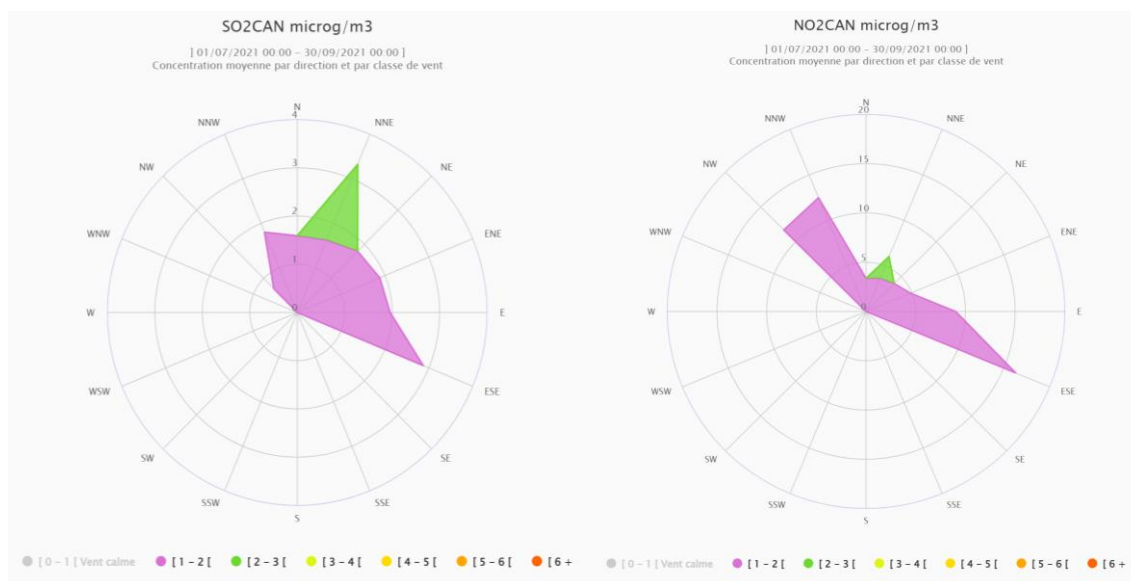


Figure 56 : Rose des pollutions du NO₂ et SO₂ sur la station de Canetto, météo Canetto

Comme évoqué précédemment, la station Canetto est enclavée en site urbain, la rose des vents indique une composante Est, correspond à l'axe avec le trafic routier, et le port. Un marqueur de la pollution maritime étant le SO₂, il est intéressant de vérifier des corrélations avec des pics de NO₂, voire de PM_{2,5} ou de comptage de particules.

Au vu des emplacements des stations fixes et mobiles, il est supposé qu'une composante principalement est / nord-est du vent mènerait à des mesures plus marquées provenant du secteur maritime.

Sachant cela, pour identifier un épisode de pollution imputable au maritime, il faut :

Corrélation Pic SO₂/NO₂

Présence de navires à quai

Vent favorable dans la direction de la station fixe / mobile concernée

Pour **Ajaccio**, vent favorable pour les stations du réseau : **Entre 45° et 135°**.

Pour **Bastia**, vent favorable pour les stations du réseau : **Entre 45° et 135°**.

VI.2 Relation entre présence des navires et hausses des concentrations en journée

La présence de navires à quai concerne généralement la journée de manière générale. Afin de caractériser au mieux l'étude et de viser à identifier des épisodes de pollution liés au maritime, il peut être intéressant de se concentrer uniquement sur les valeurs mesurées durant la journée, à savoir de 6h TU à 18h TU. En effet, selon les données des escales fournies par la CCI un navire (ferry, croisière, autre), reste généralement à quai uniquement la journée en arrivant le matin et repartant le soir pour les escales les plus longues.

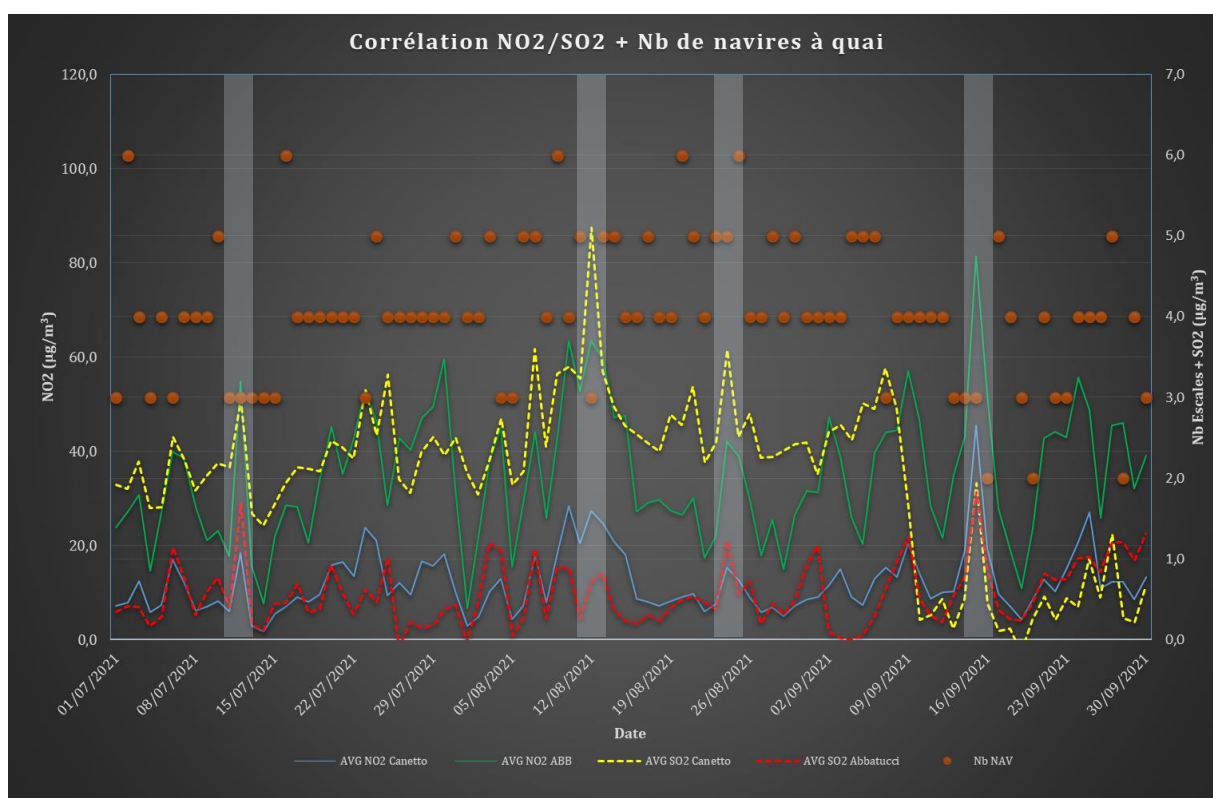


Figure 57 : Corrélation Moyenne NO₂/SO₂ et nombre (nb) de navires à quai – Ajaccio, 2021

Une première visualisation des données sur Ajaccio ne montre pas une corrélation exacte entre le nombre de navires et les pics NO₂/SO₂ corrélés (visualisées sur la courbe avec les *bandes grises*). Le pic du 12/08/2021 n'enregistre que 3 navires à quai sur toute la journée, alors que celui du 24/08/2021 en compte jusqu'à 5.

Cela montre que le lien n'est pas systématique entre présence de navires à quai et pollution sur la ville. Toute la clef de l'étude revient à lier ces informations avec les informations météo qui permettront d'identifier les dispersions des panaches vers les stations de mesure.

A noter en revanche que la disposition géographique des stations et les directions principales de vent sur Ajaccio ne permettent pas de mettre plus en évidence l'impact direct de cette pollution maritime à chaque épisode identifié.

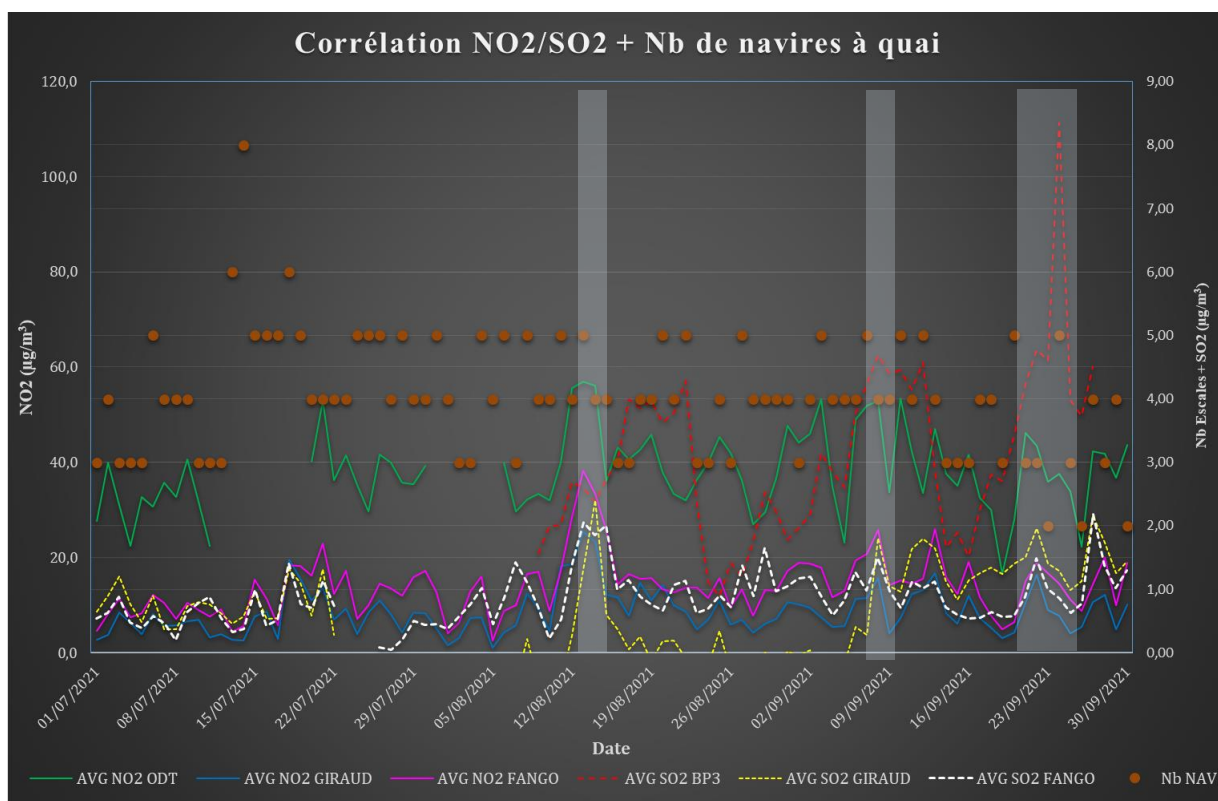


Figure 58 : Corrélation Moyenne NO_2/SO_2 et nombre (nb) de navires à quai – Bastia, 2021

Les résultats sur Bastia semblent tendre vers la même conclusion, les pics du 22/23 septembre ne comptent que 3 escales au maximum, la période de mi-juillet, malgré un nombre important de navires n'est pas révélatrice d'une hausse particulière de la pollution. Certaines journées sont toutefois intéressantes à étudier, notamment fin septembre.

Bastia dispose de stations orientés dans direction du vent la plus favorable à la mesure de la dispersion des panaches de navires, les niveaux moyens enregistrés sont donc légèrement plus hauts. Cela se voit notamment au niveau de la station mobile du pylône 3 (BP3 – Bastia Pylône 3), situé au plus proche du port à proximité immédiate des navires et dans l'axe principal venteux, d'où la moyenne plus important en SO_2 . Les stations plus éloignées (Giraud et Fango) sont plus ou moins des mesures de fond sur ce polluant, et témoignent d'une dispersion plus éloignée du panache.

VI.3 Recherche de journée spécifique

Pour trouver des épisodes de pollution maritimes, il faut alors identifier des journées parmi lesquelles les trois critères sont réunis (Pic SO₂/NO₂ / Navires à quai / Vent favorable). Une fois celles-ci identifiées, il suffit de regarder les autres polluants pour connaître l'impact général. Afin de poursuivre l'étude, il serait possible aussi d'identifier des épisodes selon un autre critère de pic (CPT, PM 2.5, etc.). Mais le fait que le SO₂ et le NO₂ sont tous les deux des gaz, leur dispersion est assez similaire.

En reprenant les mesures réduites à la journée (6h18h TU), des tableaux ont pu être sortis permettant de voir plus directement les pics corrélés en fonction de critères définis par Qualitair Corse.

Date	Micro-Capteurs					Stations Fixes				Escalles	Direction Vent E			Direction Vent E/SE			Direction Vent E/SE/s			Vitesse du Vent (~m/s)			
	AVG Hôpital AJA	AVG Local Accès	AVG Capitainerie Sud	AVG Gare Maritime	AVG Canetto	AVG NO2 Canetto	AVG NO2 ABB	AVG SO2 Canetto	AVG SO2 ABB		Nb NAV	PN	PS	CAN	PN	PS	CAN	PN	PS	CAN	PN	PS	CAN
11/08/2021	23,16	46,58	28,07	37,11	18,66	20,46	52,78	3,23	0,27	5			51%			67%			71%			0,82	
12/08/2021	10,77	27,06	24,32	22,24	10,08	27,43	63,54	5,10	0,72	3			29%			44%			44%			0,60	
13/08/2021	22,26	40,91	37,46	30,67	15,50	24,56	59,50	3,32	0,82	5			63%			82%			82%			0,76	
14/08/2021	21,77	39,99	42,62	26,49	16,98	20,74	47,19	2,88	0,38	5			56%			75%			77%			0,73	
15/08/2021	15,40	46,16	20,32	21,16	11,43	18,11	47,51	2,65	0,24	4			69%			71%			71%			0,77	
16/08/2021	8,87	16,55	12,11	16,23	4,71	8,73	27,10	2,54	0,20	4			26%			68%			68%			0,85	
17/08/2021	9,45	25,98	9,11	20,49	5,06	8,03	29,09	2,43	0,30	5	0%		0%			39%	0%		39%	3,18		0,88	
18/08/2021	5,94	25,18	8,04	18,72	6,25	7,19	29,77	2,33	0,24	4	12%		29%	12%		73%	20%		73%	2,86		0,98	
19/08/2021	5,14	14,90	8,53	15,93	5,42	8,11	27,33	2,79	0,40	4	10%		29%	18%		49%	24%		49%	2,73		0,96	
20/08/2021	6,59	19,92	9,48	21,32	8,64	8,96	26,47	2,66	0,49	6	8%		19%	8%		54%	20%		54%	2,65		0,77	
21/08/2021	1,69	14,22	9,16	15,70	3,46	9,65	30,10	3,13	0,54	5	2%		27%	6%		51%	24%		51%	2,73		0,88	
22/08/2021	5,16	20,17	12,85	19,57	4,16	6,00	17,26	2,19	0,47	4	6%		25%	10%		46%	24%		46%	2,22		0,81	
23/08/2021	6,76	24,28	7,12	18,30	6,23	7,43	21,94	2,44	0,37	5	12%		14%	14%		63%	20%		63%	2,92		0,86	
24/08/2021	7,06	18,40	12,33	28,09	8,99	15,32	42,04	3,59	1,22	5	12%		24%	22%		59%	39%		59%	2,06		0,73	
25/08/2021	16,92	33,65	22,86	26,42	14,29	12,51	38,81	2,51	0,56	6	20%		21%	29%		40%	39%		40%	1,61		0,69	
26/08/2021	6,23	21,62	7,17	16,29	8,68	8,86	29,56	2,80	0,72	4	4%	0%	21%	6%	0%	33%	27%	0%	33%	1,55	2,82	0,85	
27/08/2021	4,40	13,69	10,92	15,89	4,56	5,79	17,91	2,25	0,19	4	6%	2%	7%	8%	10%	13%	14%	14%	13%	1,78	3,53	0,93	
28/08/2021	7,58	25,70	13,78	24,40	8,06	6,89	25,40	2,26	0,44	5	0%	2%	39%	6%	6%	74%	18%	8%	74%	3,29	3,14	0,98	
29/08/2021	6,35	14,66	6,27	9,25	4,26	5,00	15,03	2,34	0,32	4	8%	0%	17%	18%	12%	61%	22%	14%	61%	2,29	2,98	0,93	
30/08/2021	5,54	22,41	11,36	17,67	6,85	7,23	26,42	2,42	0,50	5	2%	0%	10%	6%	4%	37%	12%	8%	37%	2,24	2,86	0,90	
31/08/2021	9,35	29,29	11,69	22,69	9,97	8,48	31,64	2,44	0,91	4	4%	0%	33%	6%	4%	50%	27%	6%	50%	2,12	3,37	0,81	
01/09/2021	3,05	15,59	10,42	17,97	4,44	9,06	31,23	2,05	1,17	4	16%	0%	30%	35%	9%	49%	51%	9%	49%	2,27	2,69	0,97	
02/09/2021	8,90	43,45	26,03	35,20	12,10	11,51	47,26	2,57	0,10	4	0%	2%	10%	4%	20%	17%	8%	20%	17%	2,08	2,41	0,73	
03/09/2021	13,61	26,63	23,38	19,38	12,49	14,97	38,93	2,66	0,02	4	8%	2%	38%	14%	8%	57%	53%	16%	57%	1,73	1,76	0,67	
04/09/2021	7,48	25,72	11,08	26,40	8,88	8,99	25,95	2,47	0,00	5	6%	4%	16%	8%	18%	31%	14%	18%	31%	2,12	2,57	0,80	
05/09/2021	4,86	20,50	9,27	15,87	7,81	7,32	20,27	2,92	0,06	5	10%	0%	29%	14%	18%	35%	33%	24%	35%	1,67	1,73	0,76	
06/09/2021	11,99	34,03	13,01	24,35	11,35	13,00	39,78	2,85	0,29	5	6%	4%	61%	6%	26%	80%	35%	26%	80%	3,18	2,52	0,73	
07/09/2021	13,46	37,45	17,92	33,43	13,33	15,24	43,96	3,36	0,62	3	6%		34%	10%		51%	29%		51%	2,18		0,70	
08/09/2021	5,75	23,68	13,60	23,42	4,36	13,26	44,40	2,87	0,96	4	2%		23%	8%		48%	20%		48%	2,33		0,66	
09/09/2021	9,75	35,19	18,81	22,16	11,99	20,44	57,08	1,63	1,28	4	14%		26%	27%		42%	41%		42%	1,37		0,44	
10/09/2021	18,67	42,91	18,78	33,25	14,68	14,06	46,71	0,24	0,50	4	4%		23%	12%		32%	20%		32%	1,71		0,84	
11/09/2021	9,65	23,99	9,41	27,08	9,93	8,62	28,40	0,30	0,30	4	6%		21%	16%		56%	22%		56%	2,69		0,81	
12/09/2021	9,82	27,01	16,87	17,07	9,84	10,10	21,56	0,51	0,21	4	14%		22%	29%		53%	43%		53%	2,16		0,82	
13/09/2021	9,29	30,00	17,52	21,15	11,81	11,81	10,14	34,90	0,13	0,54	3	6%		30%	12%		43%	33%		43%	1,90		0,89
14/09/2021	17,28	30,35	9,98	21,77	17,17	19,01	43,07	0,50	0,77	3	10%		52%	18%		75%	31%		75%	2,59		0,69	
15/09/2021	44,64	79,20	41,36	50,86	41,92	45,56	81,46	1,94	1,82	3	10%		30%	29%		35%	55%		35%	1,12		0,35	
16/09/2021	21,45	40,59	26,01	31,58	23,14	19,38	52,01	0,45	0,85	2	14%		13%	27%		40%	33%		40%	1,29		0,53	
17/09/2021	13,20	29,33	16,92	22,74	11,42	9,73	27,77	0,10	0,37	5	2%		25%	6%		35%	18%		35%	1,98		0,79	
18/09/2021	7,26	25,72	11,38	23,41	7,73	7,03	18,84	0,13	0,26	4	8%		10%	14%		27%	20%		27%	2,06		0,79	

Tableau 16 : Tableau des valeurs moyennes NO₂ et SO₂, nombre de navires à quai par jour, et pourcentage de vent soufflant dans les différentes directions (Est/Sud-Est, etc.) avec vitesse du vent du 11/08 au 18/09 2021 – Ajaccio période estivale 2021, 6h/18h TU

Pour définir quelles journées sont jugées comme « particulières », il peut être intéressant de filtrer les journées avec les max des moyennes de SO₂ et choisir celles avec le plus de vent dans la bonne direction. Une autre option est d'identifier les pics brusques comme celui du 15/09 avec une valeur de SO₂ relativement faible, mais avec une pente très forte.

Le même processus peut être répété en récupérant les valeurs maximales en journée.

Étiquettes de lignes	Micro-Capteurs					Stations Fixes				Escalaes	Direction Vent E			Direction Vent E/SE			Direction Vent E/SE/S			Vitesse du Vent (m/s)		
	Max de Hôpital AJA	Max de Local Accès	Max de Capitainerie Sud	Max de Gare Maritime	Max de Canetto	Max de NO2 Canetto	Max de NO2 ABB	MAX SO2 Canetto	MAX SO2 ABB		Nb NAV	PN	PS	CAN	PN	PS	CAN	PN	PS	CAN	PN	PS
11/08/2021	119,15	179,62	118,09	268,65	100,73	54,90	97,80	11,00	1,10	5			51%			67%			71%			0,82
12/08/2021	53,33	125,09	120,28	159,72	55,59	93,60	144,20	17,90	2,20	3			29%			44%			44%			0,60
13/08/2021	105,62	153,65	147,72	134,56	99,83	52,70	123,10	7,50	2,40	5			63%			82%			82%			0,76
14/08/2021	107,89	185,00	223,14	160,68	91,05	83,80	78,90	4,00	0,90	5			56%			75%			77%			0,73
15/08/2021	148,20	224,48	74,02	91,66	132,69	71,90	116,60	4,30	1,10	4			69%			71%			71%			0,77
16/08/2021	65,14	53,29	111,50	61,79	47,95	65,30	146,60	12,00	2,10	4			26%			68%			68%			0,85
17/08/2021	58,18	72,46	76,07	85,15	30,19	30,20	82,70	3,50	1,30	5	0%		14%	0%		39%	0%		39%	3,18		0,88
18/08/2021	59,23	68,00	56,76	57,28	58,90	47,00	166,80	3,50	1,50	4	12%		29%	12%		73%	20%		73%	2,86		0,98
19/08/2021	46,78	69,53	65,83	44,34	37,52	34,40	95,10	7,20	1,90	4	10%		29%	18%		49%	24%		49%	2,73		0,96
20/08/2021	28,54	86,19	56,46	89,35	35,08	46,10	134,30	6,30	1,60	6	8%		19%	8%		54%	20%		54%	2,65		0,77
21/08/2021	13,68	60,83	49,29	45,56	26,81	39,50	56,80	9,80	1,20	5	2%		27%	6%		51%	24%		51%	2,73		0,88
22/08/2021	35,18	68,09	74,39	90,20	40,10	36,40	45,30	6,30	1,10	4	6%		25%	10%		46%	24%		46%	2,22		0,81
23/08/2021	38,74	75,12	60,43	72,18	33,38	32,60	69,90	4,10	1,00	5	12%		14%	14%		63%	20%		63%	2,92		0,86
24/08/2021	40,53	70,26	70,77	124,36	39,47	44,00	112,90	13,10	5,88	5	12%		24%	22%		59%	39%		59%	2,06		0,73
25/08/2021	109,18	98,20	110,05	70,42	43,39	35,50	151,40	4,70	1,10	6	20%		21%	29%		40%	39%		40%	1,61		0,69
26/08/2021	37,63	90,31	50,78	73,86	51,66	48,60	117,30	6,90	1,90	4	4%	0%	21%	6%	0%	33%	27%	0%	33%	1,55	2,82	0,85
27/08/2021	24,98	83,12	86,84	69,02	33,42	30,00	67,20	4,50	0,80	4	6%	2%	7%	8%	10%	13%	14%	14%	13%	1,78	3,53	0,93
28/08/2021	30,60	79,33	62,73	86,84	40,93	22,30	48,00	3,00	1,00	5	0%	2%	39%	6%	6%	74%	18%	8%	74%	3,29	3,14	0,98
29/08/2021	60,29	67,58	69,99	48,30	31,63	15,10	47,10	3,90	0,80	4	8%	0%	17%	18%	12%	61%	22%	14%	61%	2,29	2,98	0,93
30/08/2021	49,61	95,04	140,45	57,65	34,43	30,90	68,00	4,60	1,60	5	2%	0%	10%	6%	4%	37%	12%	8%	37%	2,24	2,86	0,90
31/08/2021	43,54	78,68	75,26	72,65	39,22	43,10	117,60	7,30	1,70	4	4%	0%	33%	6%	4%	50%	27%	6%	50%	2,12	3,37	0,81
01/09/2021	15,26	72,36	56,47	65,04	36,00	19,20	77,60	2,60	13,40	4	16%	0%	30%	35%	9%	49%	51%	9%	49%	2,27	2,69	0,97
02/09/2021	67,70	129,89	94,67	115,04	54,49	51,50	110,80	3,10	0,60	4	0%	2%	10%	4%	20%	17%	8%	20%	17%	2,08	2,41	0,73
03/09/2021	56,07	109,80	113,25	82,76	74,01	44,40	68,90	10,50	0,80	4	8%	2%	38%	14%	8%	57%	53%	16%	57%	1,73	1,76	0,67
04/09/2021	56,43	92,70	68,08	83,12	53,12	45,50	59,20	3,40	0,60	5	6%	4%	16%	8%	18%	31%	14%	18%	31%	2,12	2,57	0,80
05/09/2021	54,05	95,67	62,85	63,40	48,58	51,30	43,70	6,00	0,50	5	10%	0%	29%	14%	18%	35%	33%	24%	35%	1,67	1,73	0,76
06/09/2021	58,20	102,56	103,09	71,50	53,86	40,70	137,70	4,90	1,20	5	6%	4%	61%	6%	26%	80%	35%	26%	80%	3,18	2,52	0,73
07/09/2021	79,81	113,00	87,91	98,51	92,33	65,50	211,30	10,70	1,60	3	6%		34%	10%		51%	29%		51%	2,18		0,70
08/09/2021	48,39	149,52	59,07	91,16	51,09	65,70	101,40	5,90	2,20	4	2%		23%	8%		48%	20%		48%	2,33		0,66
09/09/2021	58,23	152,04	117,50	106,75	93,69	82,70	125,70	5,50	5,90	4	14%		26%	27%		42%	41%		42%	1,37		0,44
10/09/2021	70,80	143,30	133,09	111,28	66,21	54,50	108,50	1,50	1,40	4	4%		23%	12%		32%	20%		32%	1,71		0,74
11/09/2021	54,95	82,34	43,93	98,69	51,34	38,00	60,00	6,00	0,80	4	6%		21%	16%		56%	22%		56%	2,69		0,81
12/09/2021	72,28	131,47	140,68	61,56	80,74	46,50	58,10	2,90	1,00	4	14%		22%	29%		53%	43%		53%	2,16		0,82
13/09/2021	65,29	115,01	110,29	73,24	54,91	34,60	104,00	1,50	5,20	3	6%		30%	12%		43%	33%		43%	1,90		0,89
14/09/2021	100,26	125,54	65,15	77,97	71,32	52,80	138,70	3,80	2,40	3	10%		52%	18%		75%	31%		75%	2,59		0,69
15/09/2021	107,77	171,54	118,17	146,55	102,77	80,10	275,80	17,20	7,50	3	10%		30%	29%		35%	55%		35%	1,12		0,35
16/09/2021	112,77	159,87	128,77	124,51	96,03	66,40	133,60	2,30	3,00	2	14%		13%	27%		40%	33%		40%	1,29		0,53
17/09/2021	83,87	118,67	100,46	78,01	83,67	50,10	84,40	1,10	1,80	5	2%		25%	6%		35%	18%		35%	1,98		0,79
18/09/2021	59,84	95,98	52,05	71,94	37,09	29,60	54,10	2,20	0,90	4	8%		10%	14%		27%	20%		27%	2,06		0,79

Tableau 17 : Tableau des valeurs max NO2 et SO2, nombre de navires à quai par jour, et pourcentage de vent soufflant dans les différentes directions (Est/Sud-Est, etc.) avec vitesse du vent du 11/08 au 18/09 2021 - Ajaccio période estivale 2021, 6h/18h TU

En appliquant un filtre sur les données SO₂, on peut identifier plus facilement les journées particulières intéressantes. Les journées qui ressortent sont celles du **24/08/2021** (pic Max SO₂ Canetto et Abbatucci, 5 escales, vent favorable à 12%), du **01/09/2021** (pic SO₂ Abbatucci, 4 escales, vent favorable à 16%) et du **15/09/2021** (pic SO₂ Canetto et Abbatucci, 3 escales, vent favorable à 10%).

A des fins de comparaisons avec une journée chargée en escales mais sans trop d'impact apparent, la journée du **28/08/2021** (aucun pic important, 5 escales, très peu de vent d'est) est prise en compte.

VI.4 Détection des panaches – Journées particulières

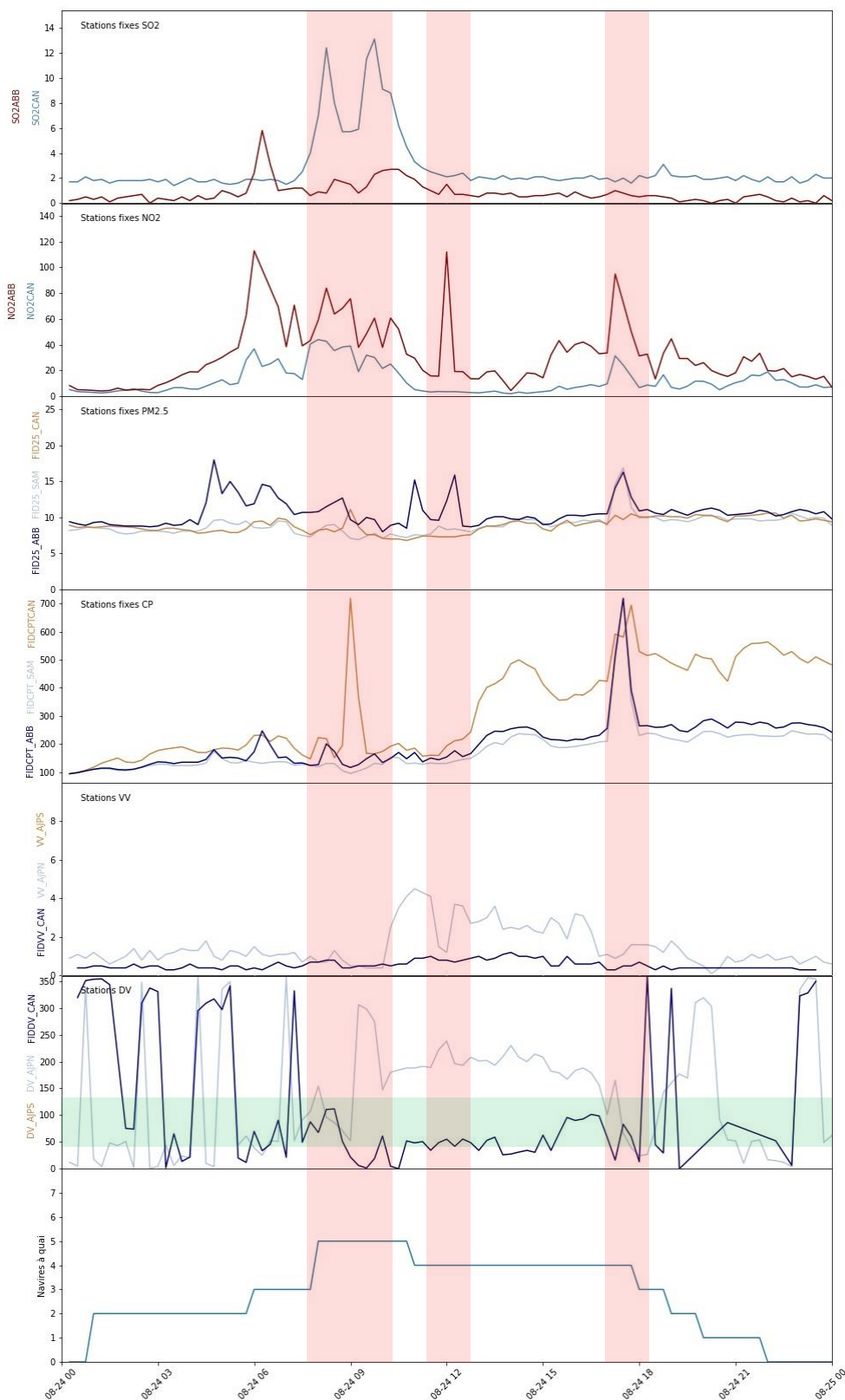


Figure 59 : Journée particulière du 24 août 2021 - Ajaccio

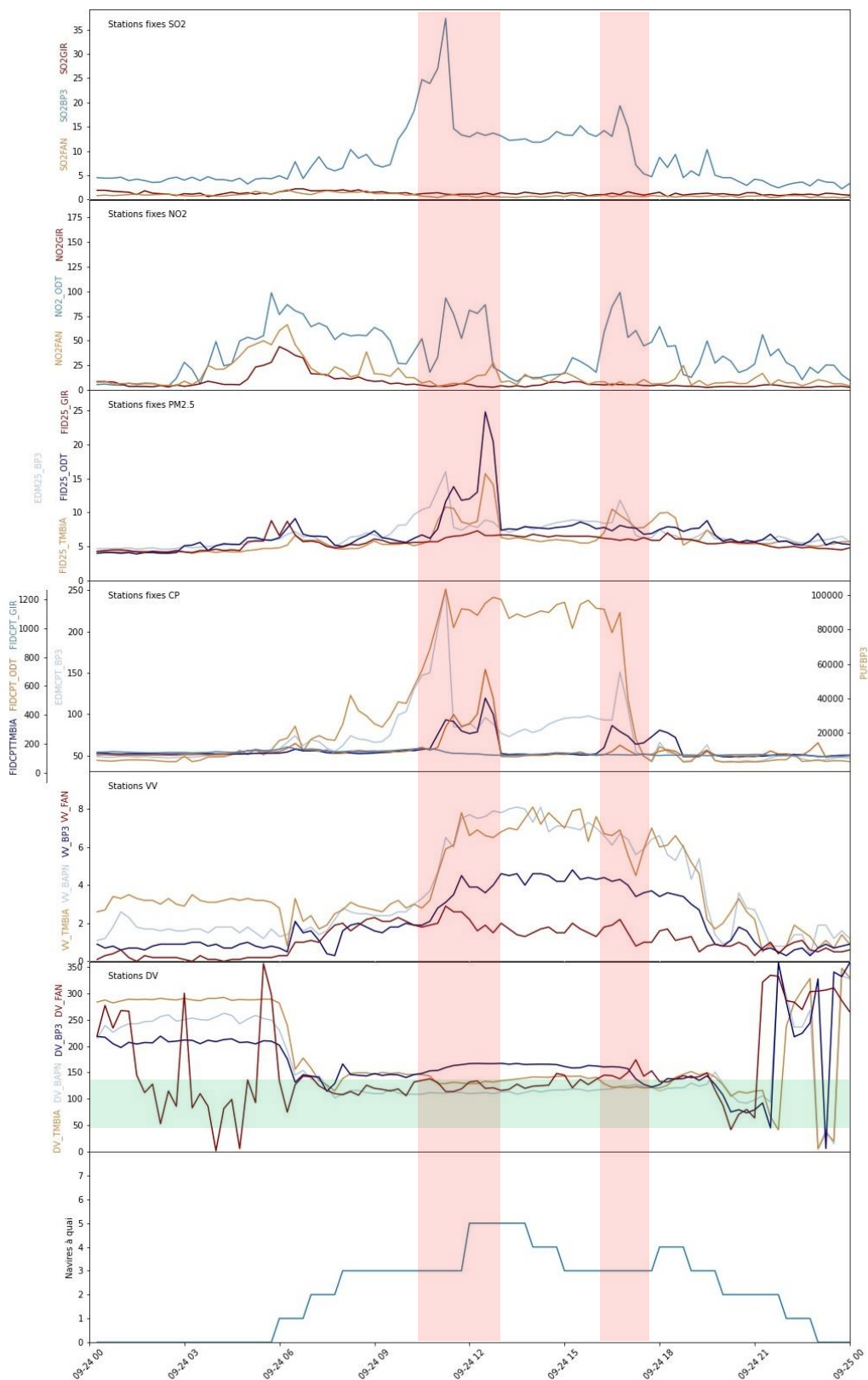


Figure 60 : Journée particulière du 24 septembre 2021 - Bastia

Sur les graphiques précédents, les pics de SO₂ corrélés sont identifiés via les bandes rouges. La plage d'axe de vent favorable élargie aux mesures est symbolisée par des bandes vertes. Dans ces cas-là, l'arrivée ou le départ d'un navire peut être noté, corrélé à un vent de Nord-Est pour Ajaccio, et de Sud-Est pour Bastia, correspondants aux directions de vents propices à la dispersion des polluants vers les stations du réseau.

Il est particulièrement intéressant de suivre l'évolution des mesures du comptage de particules, notamment des plus fines mesuré par la station temporaire au pylône 3 (PUF – 7nm / 1µm). En effet, dans quasiment tous les cas de pics SO₂ identifiables à des panaches de navires, il s'en suit une augmentation significative du nombre de particules de très petite taille.

Pour rappel, la gamme de mesures des instruments de comptage de particules est la suivante :

Instrument	Plage de mesure
FIDAS (FIDCPT)	[180nm – 18µm]
EDM	[250nm – 32µm]
CPC (PUF)	[7nm – 1µm]

Tableau 20 : Plage de mesure des instruments pour le comptage de particules

Il s'agit là des cas les plus visuels pour Ajaccio et Bastia, avec des pics de polluants possiblement liés à la présence de navires à quai, étant donné les axes de vent de ces jours particuliers. Il est intéressant de remarquer également qu'à conditions de vent égales, les mesures sur Bastia ne semblent pas faire état de nouveaux pics lors du départ de deux navires aux alentours de 14h TU, avec toutefois des moyennes assez élevées sur le SO₂ et les Particules Ultra Fines (PUF).

La modélisation permettra de confirmer si la hausse de pollution est liée aux panaches des navires ou imputables à d'autres sources, avec les micro-capteurs qui viendront compléter la résolution spatiale des mesures (car ces courbes sont celles des stations fixes et temporaires).

Conclusion

L'étude a permis de démontrer qu'il n'y avait pas de corrélation systématique entre la présence de navires à quai et une augmentation des polluants principaux sur les zones de mesure.

De manière générale, selon les mesures des analyseurs de référence, les dépassements des lignes directrices de l'OMS sont rares et concernent principalement les moyennes journalières sur des sites « trafic », ne pouvant donc pas être directement attribuables au maritime (cf. courbes moyennes horaires et journalières). L'impact des navires est généralement très ponctuel, notamment au moment des manœuvres d'arrivée et de départ, et une étude plus poussée en résolution temporelle permettrait d'approfondir les connaissances sur celui-ci. Un nombre de navires à quai plus ou moins important ne semble pas a priori impacter de manière significative les zones de la ville pour lesquelles des stations de mesure sont présentes.

Une part importante du programme AER NOSTRUM porte notamment sur l'identification de la pollution maritime par rapport aux autres sources émissives : en se basant sur des pics corrélés de NO₂ et SO₂, il est possible d'attester une origine maritime d'une pollution localisée dans le temps et l'espace si et seulement si les conditions météorologiques orientent et diffusent les panaches des navires vers les appareils de mesure.

Il serait alors intéressant de poursuivre l'étude en se basant sur d'autres corrélations de polluants par rapport aux conditions météo. De plus, ce bilan des mesures s'inscrivant dans l'axe T1 du projet AER NOSTRUM alimente un logiciel de modélisation 3D (axe T2) qui permettra de quantifier plus en détail l'impact des navires sur la ville.

D'autre part, l'impact sur les habitants dépend principalement de leur emplacement par rapport à la rose des vents d' Ajaccio et de Bastia :

- D'axe Nord/Sud à Ajaccio, les principales personnes impactées par la pollution causée par les navires se situeraient au Nord du port, dans le quartier des Cannes et Salines, et une prochaine étude hors cadre AER NOSTRUM pourrait venir appuyer ces conclusions.

- D'axe Est/Ouest à Bastia, la quasi-totalité des habitants à l'Ouest du port sont concernés, notamment l'après-midi quand la brise de mer se met en place.

L'impact de cette pollution maritime n'est donc pas systématique sur la ville – ou à défaut une partie – car elle dépend principalement des conditions météo et du type de navire présent à quai (carburant utilisé, système de dépollution à bord, vétusté du navire...).

En identifiant les moments pendant lesquelles des pics récurrents interviennent, il serait également possible d'identifier quel type de navire est à l'origine d'une pollution plus importante, permettant alors de réguler les prochaines escales dans le cadre d'une charte environnementale.