



**QUALITE DE L’AIR AU PORT DE CANNES ET  
IMPACT DE L’ACTIVITE MARITIME SUR LA VILLE DE CANNES**  
Résultats de la campagne de mesure du 28 juin 2022 au 17 janvier 2023

**Date de parution**

Juillet 2023

**Contact**

Chargée d’action territoriale : Maithé Rosier : [maithe.rosier@atmosud.org](mailto:maithe.rosier@atmosud.org)

Pilote de projet : Florence Péron : [florence.peron@atmosud.org](mailto:florence.peron@atmosud.org)

**Références**

AFI- 000161 / Qualité de l’air au Port de Cannes / FP-MRR-ASN-ERT

## Résumé

Inséré en plein cœur de la ville, le quartier du port de Cannes regorge d'une population dense exposée à une pollution multi sources (trafic routier, aéroport, port, voie ferrée, hélicoptère, zones commerciales et industrielles). La rade de Cannes accueille chaque année de nombreux paquebots de croisière et l'enjeu de la qualité de l'air devient crucial pour la collectivité, le gestionnaire du port et les riverains. Pour répondre à ces préoccupations, AtmoSud propose une étude sur la mesure des concentrations des polluants atmosphériques dans l'air ambiant sur le vieux port de Cannes et un focus sur les émissions des navires et notamment les retombées des panaches des navires sur la ville.

### ► Des émissions liées aux durées des escales plus importantes en période estivale

D'avril à décembre 2022, les émissions des paquebots au Port de Cannes ont connu une variation saisonnière avec des émissions élevées en été et des émissions faibles en hiver qui sont influencées par le temps, le nombre d'escales, mais aussi les caractéristiques des navires. Le temps de stationnement annuel est estimé à 1720 heures pour une durée moyenne estimée à 12.65 heures/escale et un total annuel de 136 escales. Entre avril et mai, les émissions des 3 polluants principaux (NOx, PM2.5, SOx) augmentent de 74% en lien avec une augmentation du temps des escales de 68%. Le mois de juillet est le mois avec le plus grand nombre et de temps d'escales et donc avec le plus d'émissions de polluants d'origine maritime.

### ► Un impact sur la ville des navires ancrés dans la baie de Cannes essentiellement par vent de Sud-sud-Est

Pour l'ensemble des polluants, le Port est soumis à une pollution moyenne supérieure à celle mesurée en situation de fond urbain à Cannes / Broussailles avec également des niveaux de pointe supérieurs. Les pics de pollution mesurés sont probablement liés à la proximité du lieu de ravitaillement des navires par rapport à la cabine installée sur le quai du Large. Les navires ancrés dans la baie de Cannes peuvent avoir un impact sur la ville essentiellement par vent de secteur Sud-Sud-Est, qui est une situation peu fréquente à l'échelle annuelle (environ 8% du temps), mais plus fréquente en période estivale (14% du temps).

### ► La réglementation annuelle européenne respectée mais pas les lignes directrices de l'OMS

Malgré ces quelques pics, la réglementation européenne est respectée pour l'ensemble des polluants mais les lignes directrices (LD) de l'OMS, plus contraignantes ne le sont pas en dioxyde d'azote et en particules fines. Elles sont d'ailleurs dépassées pour les particules fines PM2,5 sur l'ensemble du territoire régional et le sont en partie pour le dioxyde d'azote avec 82% de la population régionale exposée à des dépassements de LD. A Cannes, la population exposée à ces dépassements de LD pour le NO<sub>2</sub> représente moins de 2% de la part régionale.

### ► Des panaches de navires de croisière pouvant atteindre la ville ponctuellement

Les concentrations des panaches de navires sont étroitement liées aux dynamiques de vent. La distance importante entre le point de mouillage des navires de croisière et la ville de Cannes permet aux panaches de navires de se disperser efficacement (dilution d'un facteur 3 des concentrations). Dans des conditions de vent défavorables (secteur Sud/Sud-Est), la contribution des panaches de navires de croisière, aux concentrations horaires de particules fines PM2.5 peut entraîner un apport supplémentaire jusqu'à +2.5 µg/m<sup>3</sup>. De plus, les scénarisations ont montré l'impact épisodique de ce type de pollution : une fois le panache passé, les concentrations mettent une vingtaine de minutes pour revenir à la normale.

## **REMERCIEMENTS**

AtmoSud tient à remercier IGY Marinas pour leur collaboration et la fourniture des données nécessaires à l'établissement de ce rapport, ainsi que les services de la Communauté d'Agglomération de Cannes et du Pays de Lérins.

## **PARTENAIRES**

IGY Marinas, Ville de Cannes, Communauté d'Agglomération de Cannes et du Pays de Lérins.

## **AUTEURS DU DOCUMENT**

Florence Péron, Sonia Oppo, Raïssa Ali Saïd, Maithé Rosier – AtmoSud

Vérification : Alexis Stépanian, AtmoSud

Validation : Edwige Révélat, AtmoSud

## SOMMAIRE

|       |  |    |
|-------|--|----|
| II    | Contexte de l'étude .....  | 5  |
| III   | Descriptif de la zone d'étude .....  | 6  |
| III.1 | Climatologie .....   | 6  |
| III.2 | Populations .....  | 7  |
| III.3 | Sources de pollution .....   | 8  |
| III.4 | Émissions des navires de croisières .....  | 9  |
| IV    | Campagne de mesures .....  | 13 |
| IV.1  | Conditions météorologiques pendant la campagne .....   | 13 |
| IV.2  | Résultats .....  | 15 |
| V     | Discussion .....   | 21 |
| V.1   | Dans quelles situations, les polluants du transport maritime liés aux activités du port peuvent-ils avoir une influence sur la qualité de l'air du centre urbain de Cannes ? ..... | 21 |
| V.2   | Les pics observés au Port sont-ils liés aux navires ancrés en baie de Cannes ? .....   | 23 |
| V.3   | Quelle est la dynamique des panaches de navire de croisière par rapport à la ville de Cannes ?<br>25   |    |
| VI    | Conclusion .....   | 29 |

## LISTE DES ANNEXES

|  |    |
|--|----|
| Annexe 1 – Sources de pollution, effets sur la santé, réglementation et recommandations OMS..... | 33 |
| Annexe 2 – Eléments météorologiques .....  | 35 |
| Annexe 3 – Methodologie de calcul des emissions.....   | 36 |
| Annexe 4 – Roses des vents mensuelles .....  | 38 |
| Annexe 5 – Evolutions horaires et présence de navires en baie de Cannes.....                     | 39 |
| Annexe 6 – Journées particulières .....  | 41 |
| Annexe 7 – Méthodologie de modelisation des panaches .....                                       | 44 |
| Annexe 8 – Modèle de dispersion atmosphérique PMSS .....   | 47 |

## II CONTEXTE DE L'ETUDE

La rade de Cannes accueille chaque année de nombreux paquebots de croisière et est devenu le quatrième port d'escale en France pour les croisières en 2018.

En 2019, le Maire et Président de Cannes Pays de Lérins a demandé au premier Ministre d'étendre les pouvoirs des maires afin de mieux réguler la pollution des navires à proximité des côtes. La même année, la mairie de Cannes et la CCI Nice Côte d'Azur, alors gestionnaire du Vieux-Port de Cannes, ont élaboré une charte engageant les croisiéristes dans une démarche de réduction des émissions polluantes des paquebots de croisière par l'utilisation de carburant à 0.1% de soufre dès l'entrée de la zone de pilotage obligatoire et pendant toute la durée de l'escale au mouillage, alors que la réglementation en vigueur depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2020 autorise des teneurs en soufre de 0.5%. La charte propose en alternative d'utiliser des systèmes de scrubbers ou tout autre système équivalent. Cette charte, signée par une trentaine de compagnies maritimes, a été valorisée dans le Plan de Protection de l'Atmosphère des Alpes-Maritimes (PPA).

En 2020, la Communauté d'Agglomération de Cannes et du Pays de Lérins (CACPL) fait appel à l'expertise d'AtmoSud afin de mieux connaître la qualité de l'air sur le vieux port, situé face à la baie de Cannes, dans laquelle stationnent les paquebots. En 2022, la gestion du port de Cannes est reprise par la société IGY Marinas.

AtmoSud, dans le cadre de l'adhésion de la CACPL, propose une étude sur deux ans comprenant :

- l'amélioration des informations liées aux émissions maritimes sur le port de Cannes ;
- la réalisation d'une campagne de mesures de juin 2022 à janvier 2023 (6 mois) sur le port de Cannes ;
- la modélisation numérique des panaches des navires en fonction des directions des vents, et l'évaluation des retombées des panaches sur la ville et le port en fonction des situations météorologiques les plus fréquentes et/ou les plus pénalisantes.

L'analyse de l'ensemble de ces informations permet de mieux caractériser l'état de la qualité de l'air aux alentours du Port de Cannes et de discriminer les principaux facteurs de pollution de l'air ambiant dans ce secteur, en portant une attention particulière sur la pollution liée aux navires.

### III DESCRIPTIF DE LA ZONE D'ETUDE

#### III.1 Climatologie

Les paramètres météorologiques pour décrire la climatologie sur la zone d'étude, sont issus de la station Météo France de Cannes, située à l'aéroport. Ces données sont étudiées sur une période de 5 ans et comparées avec celles observées durant la campagne afin de confirmer la représentativité de la période de mesures.

La vitesse et la direction du vent sont également mesurées au niveau de la cabine d'AtmoSud située au Port de Cannes. L'analyse de ces paramètres est effectuée au paragraphe **IV.1 Conditions météorologiques pendant la campagne**.

##### III.1.1 Régime de vent

La rose des vents établie sur la période de la campagne est similaire à celle établie sur les 5 dernières années (**Figure 1**).

Deux secteurs principaux ressortent de la distribution statistique, Nord et Sud-Sud-Est, en relation aux phénomènes de brises thermiques alternées sur la bordure littorale (**Annexe 2**). La majorité des vents provient du Nord. Leur vitesse est faible, principalement inférieure à 2 m/s (en vert). Le secteur Sud/Sud-Sud-Est est le second régime de vent avec une intensité modérée des vents, des vitesses comprises entre 3 et 4 m/s (en orange). Enfin, 12 % des vents ont une vitesse inférieure à 1 m/s et sont considérés comme faibles. La similitude des deux roses de vents confirme la représentativité de la période de mesures.

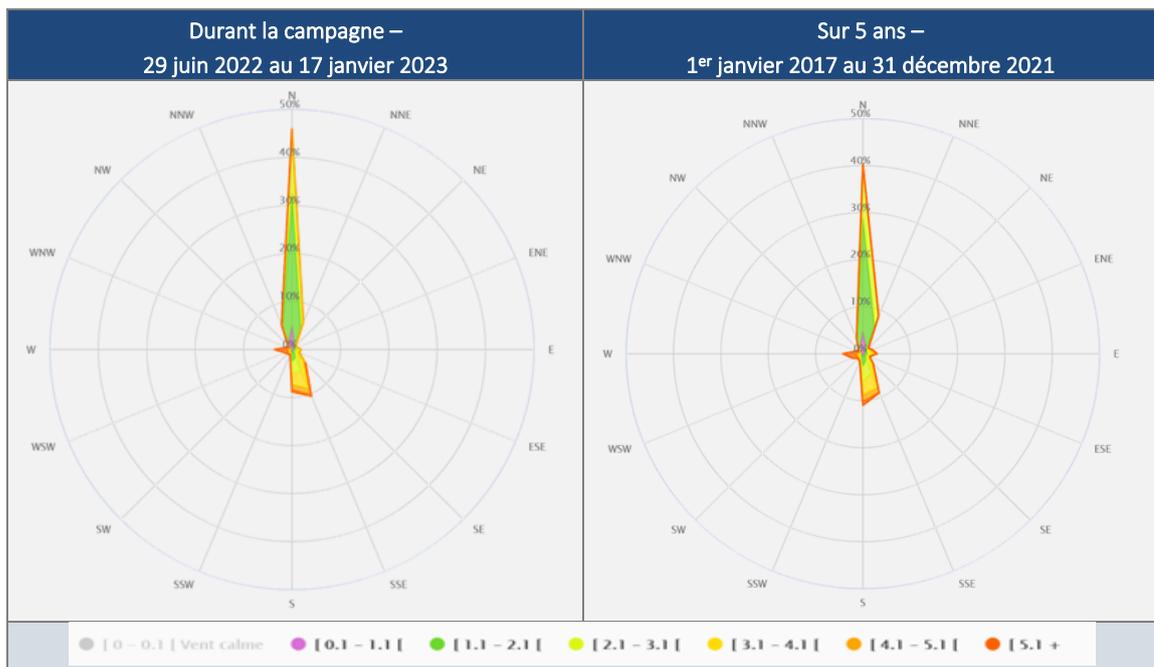


Figure 1 : Roses des vents à la station Météo France de Cannes durant la campagne et sur 5 années

##### III.1.2 Température et précipitations

Le profil de température relevé à la station Météo France de Cannes est habituel avec une température maximale aux mois de juillet-août atteignant les 25°C en 2022 et des températures minimales en janvier et février avec 8°C en moyenne.

La pluviométrie est un paramètre aléatoire d'une année sur l'autre. Ainsi, comparativement aux cinq dernières années, l'année 2022 affiche un déficit pluviométrique d'environ 40%, essentiellement au printemps. Cependant, les précipitations ont été particulièrement importantes en décembre, même excédentaires atteignant 150 mm de cumul, contrairement au mois de janvier, mai et juillet, particulièrement secs.

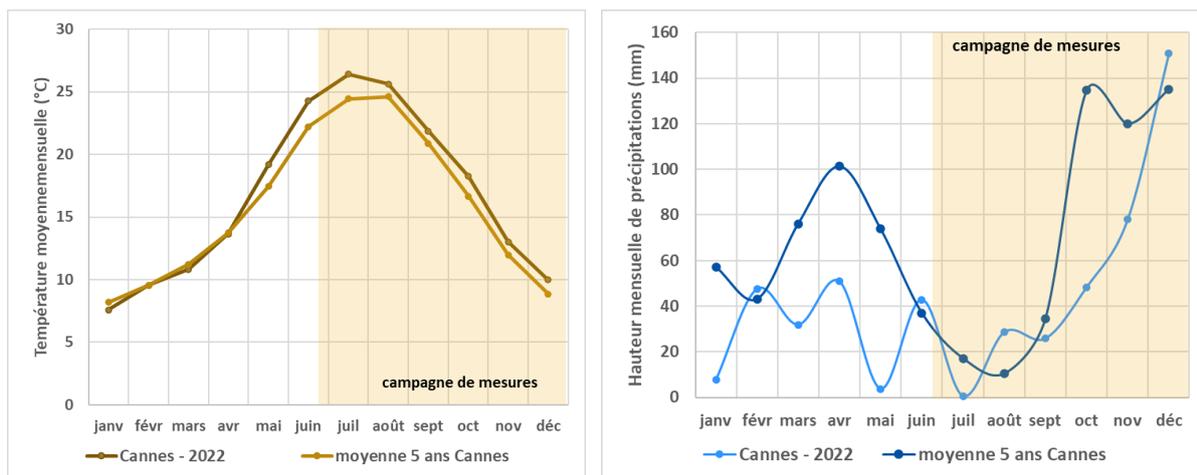
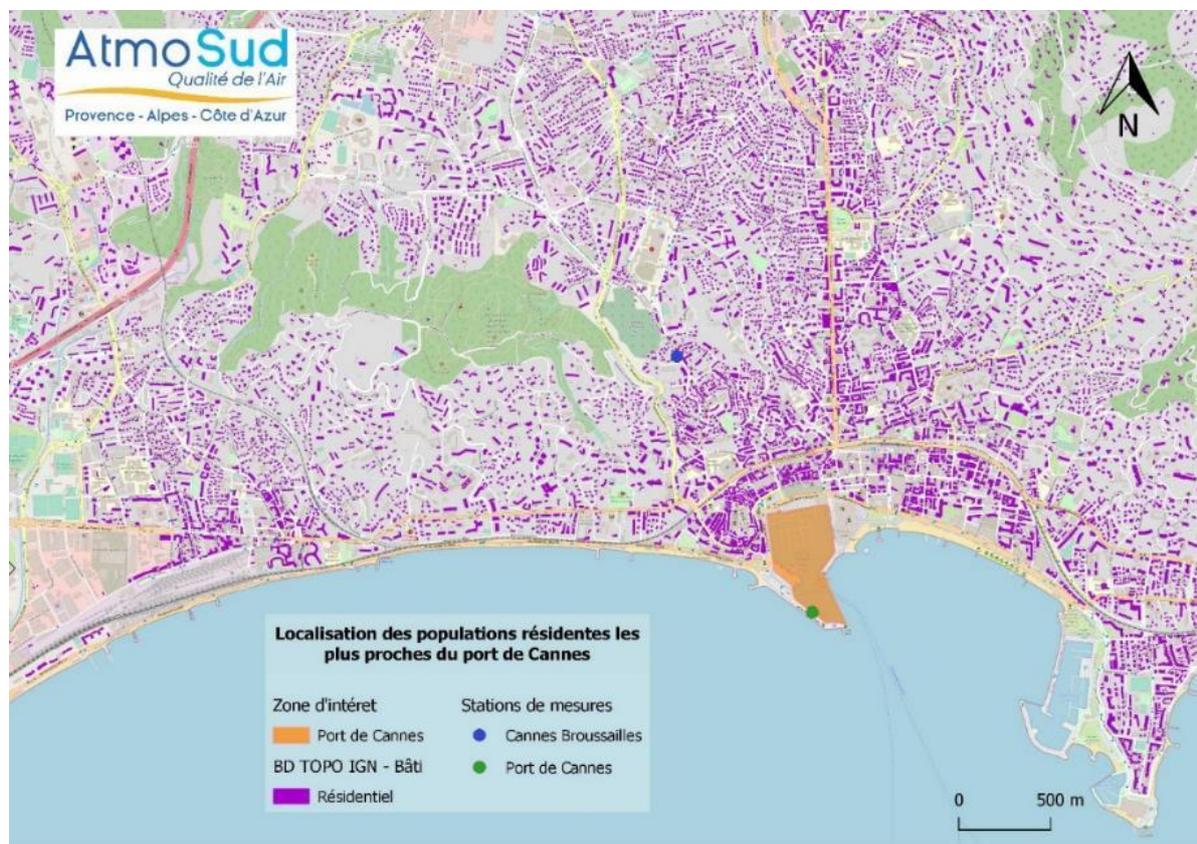


Figure 2 : Evolution de la température et hauteur des précipitations à la station Météo France à Cannes

Les vents à l'aéroport de Cannes sont essentiellement dans un régime de brises orientées Nord/Sud. La campagne de mesures menée à Cannes s'est déroulée dans des conditions météorologiques représentatives de celles généralement observées sur la zone d'étude.

### III.2 Populations

Le Port de Cannes occupe 23 hectares, répartis sur le vieux port, le port de plaisance ainsi que sur le port de commerce inauguré en 1965. Il se situe à l'est de la baie de Cannes dans le quartier de la Pointe Croisette. En 2019, la population était de 74 545 habitants à Cannes selon l'INSEE. Le port est un point central de la ville avec de nombreuses populations résidentes à proximité.



Carte 1 : Localisation des populations résidentes à proximité du Port de Cannes

L'exposition de la population est calculée à l'échelle de la ville. La population exposée à un dépassement de valeurs réglementaires en dioxyde d'azote et particules fines PM<sub>2,5</sub> est indiquée dans le **Tableau 1**.

Tableau 1 : Population à Cannes exposée aux dépassements de valeurs réglementaires et lignes directrices OMS 2021  
(Source : AtmoSud 2021)

| Population en 2021 exposée au dépassement de           | Valeur limite annuelle européenne | Objectif européen annuel à 2030 | Ligne directrice OMS 2021 |
|--|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| Valeur seuil NO <sub>2</sub> (en µg/m <sup>3</sup> )   | 40                                | 20                              | 10                        |
| Nombre de personnes exposées en NO <sub>2</sub>        | <500                              | 24 000                          | 73 000                    |
| Pourcentage de la population concerné                  | <1 %                              | 33 %                            | 100 %                     |
| Valeur seuil PM <sub>2,5</sub> (en µg/m <sup>3</sup> ) | 20                                | 10                              | 5                         |
| Nombre de personnes exposées en PM <sub>2,5</sub>      | 0                                 | 1000                            | 73 000                    |
| Pourcentage de la population concerné                  | 0 %                               | 1 %                             | 100 %                     |

### III.3 Sources de pollution

Les sources de pollution atmosphériques dépendent principalement des transports et des activités industrielles.

Les principales infrastructures de transport à proximité du secteur d'étude sont (**Carte 2**) :

- les axes routiers avec l'autoroute A8 et la départementale D6007 ;
- l'aéroport Cannes-Mandelieu se situant à l'Ouest de Cannes ;
- la voie ferrée, au Sud, longeant le bord de mer ;
- le transport maritime avec les navettes Cannes-Les îles de Lérins ,
- le parking Laubeuf de 300 places proche de l'embarcadère des navettes;
- l'héliport de Cannes situé juste à côté de la station de mesure installée au Port.

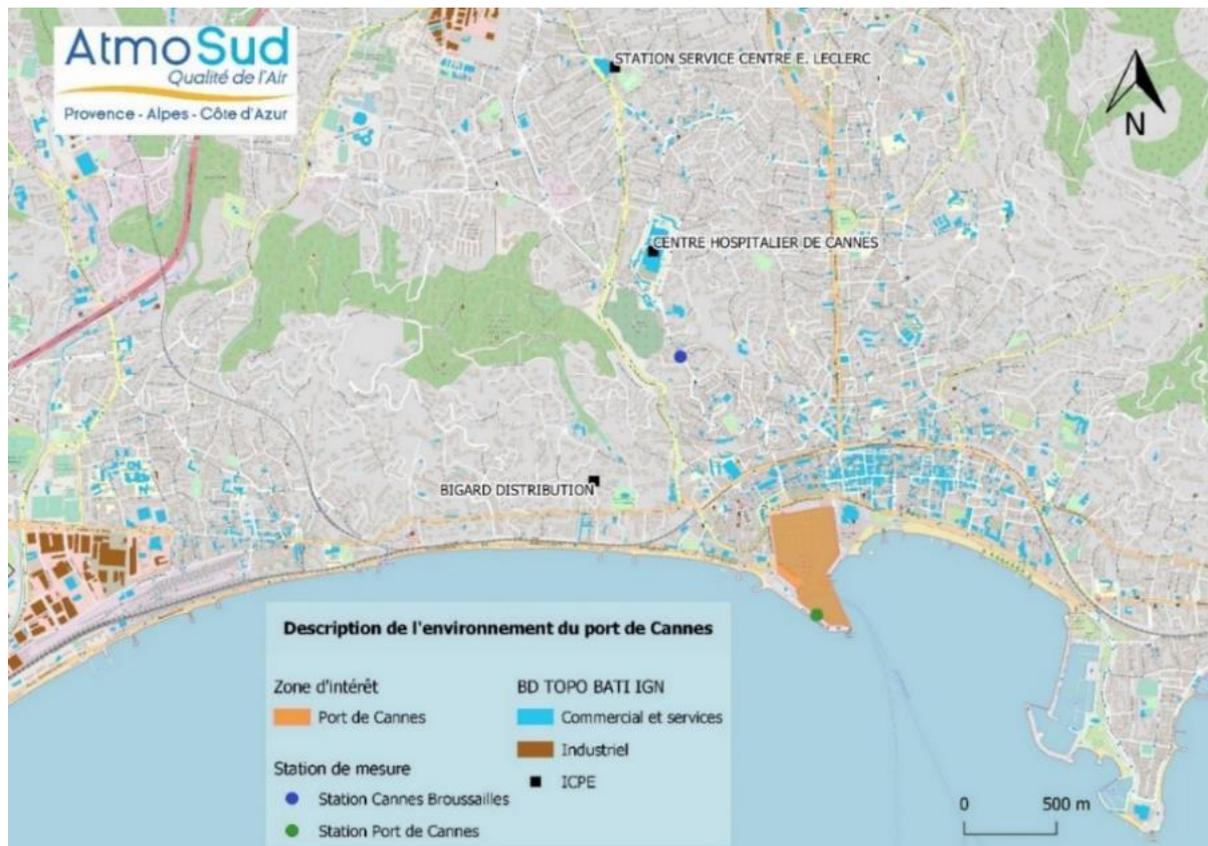


Carte 2 : Description de l'environnement linéaire du Port de Cannes

Les principales activités industrielles potentiellement émettrices sont :

- les sites classés ICPE : Bigard Distribution se situant à l'Ouest du Port de Cannes, le centre hospitalier de Cannes et la station-service du centre commercial E. Leclerc plus au Nord ;
- les zones commerciales et de services aux alentours du Port de Cannes ;
- les zones industrielles se situant à côté de l'aéroport de Cannes-Mandelieu.

Les ICPE sont des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement, elles peuvent présenter un danger ou des nuisances pour les riverains et leur santé mais aussi pour la nature et la biodiversité.



Carte 3 : Description de l'environnement industriel du Port de Cannes

### III.4 Émissions des navires de croisières

Un des objectifs de cette étude est d'améliorer les informations liées aux émissions maritimes sur le port de Cannes, afin de disposer de données affinées pour une meilleure modélisation.

#### ► Contextualisation et source des données

Entre 2007 et 2020, l'inventaire des émissions liée au trafic des navires dans le Port de Cannes était basé sur les données fournies par IHS Markit. Ces données, relatives à la phase d'escale, concernaient principalement les navires de plaisance et les paquebots. Ainsi à l'échelle de la ville de Cannes, le transport maritime contribue en 2019 pour :

- 19% des émissions de NO<sub>x</sub> ;
- 3% des émissions de PM<sub>2.5</sub> ;
- 30% des émissions de SO<sub>2</sub>.

A titre de comparaison, le transport routier représente 56% des émissions de NO<sub>x</sub> et 18% des PM<sub>2.5</sub> et le secteur résidentiel représente 43% des émissions de PM<sub>2.5</sub>. Ces données sont issues de l'inventaire

des émissions réalisées par AtmoSud en 2019, année non impactée par la crise COVID (données CIGALE<sup>1</sup>)

Pour la présente étude dont un des volets vise à évaluer les émissions maritimes des navires de croisière en 2022, les données utilisées proviennent d'IGY Marinas – port de Cannes. Comme en 2021, seule la catégorie des paquebots a été recensée, alors qu'avant cette date, les émissions de la plaisance étaient également prises en compte. De ce fait, les résultats des données calculées en 2022 restent à consolider et doivent être considérées comme provisoires avant leur intégration dans le prochain inventaire des émissions prévu en 2024. Ces données réelles sont importantes pour affiner l'inventaire des émissions maritimes et vont permettre de comparer les résultats avec les estimations précédentes en identifiant les écarts et en appliquant une correction en conséquence si nécessaire.

Les données relatives à chaque escale transmise par IGY-Marinas - Port de Cannes à AtmoSud en décembre 2022 indiquent les informations suivantes :

- Année
- Numéro de l'escale
- Immatriculation
- Date arrivée et date de départ
- Nom du navire
- Capacité maximale du nombre de passagers
- Provenance et destination des navires
- Jauge brute
- Port en lourd

Pour les grandes unités qui ne rentrent pas dans le cœur du port, le point de mouillage en baie de Cannes est positionné au niveau de l'ancre sur la carte ci-dessous.



Carte 4 : Localisation de l'ancre de la baie de Cannes. L'ancre indique le point de mouillage des paquebots en escale.

Le calcul des émissions liées au transport maritime a été réalisé sur la période du 13 avril au 8 décembre 2022. Aucune escale de navire, prévisionnelle ou réelle, n'a été enregistrée avant ou après cette période.

La méthodologie de calcul des émissions et l'optimisation des données sont décrites en **Annexe 3**

<sup>1</sup> <https://cigale.atmosud.org>

► **Durée et nombre d’escales**

La **Figure 3** représente l’évolution du nombre d’escales des paquebots et le temps de stationnement en heure. Le point notable est l’existence d’une corrélation entre ces deux variables due à la planification du temps d’escale de chaque paquebot mouillant au large de Cannes. Une trentaine de navires a coutume d’y faire escale. La durée de stationnement nécessaire pour calculer les consommations et donc les émissions à quai des navires s’élève sur l’année à 1720 heures pour une durée moyenne estimée à 12,65 heures/escale. Les arrivées ont lieu en matinée (de 05h15 à 09h00) tandis que les départs sont programmés l’après-midi voire en soirée (de 14h00 à 23h00). En ce qui concerne le nombre d’escales, la plage de variation se situe entre 1 à 25 par mois pour un total annuel de 136.

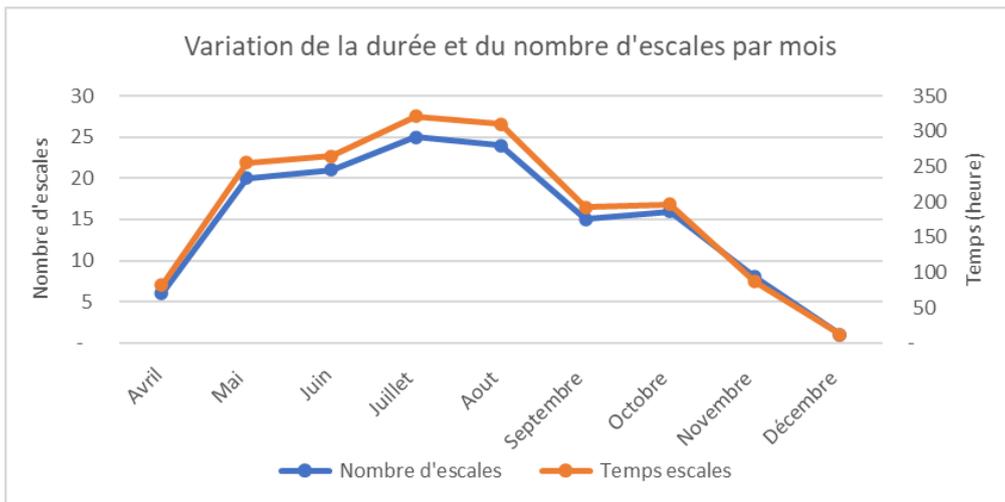


Figure 3: Variation mensuelle du nombre d'escales et de leur durée

► **Emissions lors du stationnement**

La **Figure 4** ci-dessous met en exergue l’évolution mensuelle des émissions de NOx en 2022. Cette année comptabilise **99 158 kg de NOx**, marquée par une oscillation mensuelle entre 599 kg (décembre) et 17400 kg (juillet). Les émissions ont été particulièrement faibles en avril, novembre et décembre et significativement plus élevées entre mai et octobre. Les mois de septembre et d’octobre affichent un temps d’escale quasi-similaire malgré des émissions respectives différentes. Cela s’explique notamment par une augmentation de 21 % de la jauge brute moyenne des paquebots entre ces deux dates. De plus, il existe un lien statistique significatif entre les émissions et le temps d’escale, avec des périodes de fortes émissions qui sont représentées par un temps de stationnement important. Enfin, les émissions de PM2.5 et SOx suivent une dynamique similaire à celle des émissions de NOx (**Figure 5**).

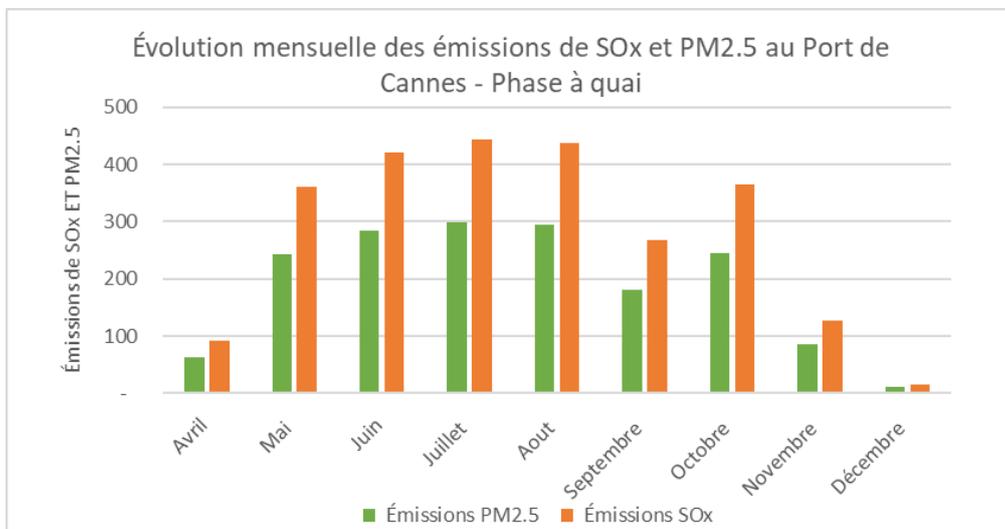


Figure 4 : Evolution mensuelle des émissions de SOx et PM2.5 au Port de Cannes du 13 avril 2022 au 8 décembre 2022

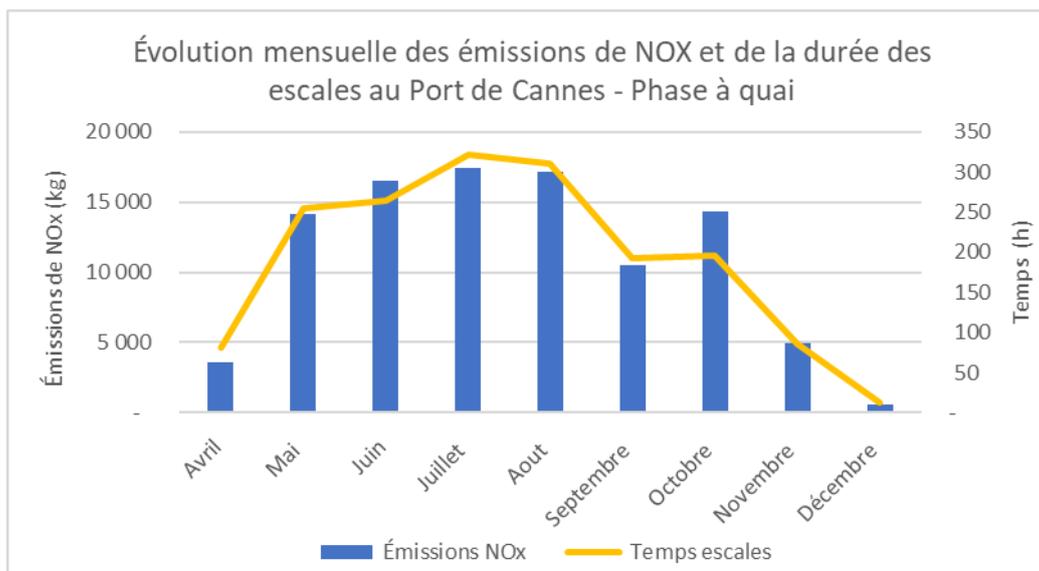


Figure 5: Évolution mensuelle des émissions de NOx et du nombre d'escales au Port de Cannes du 13 avril 2022 au 8 décembre 2022

En 2022, les émissions de NOx, PM2.5 et SOx des paquebots au Port de Cannes sont caractérisées par une variation saisonnière, avec des émissions élevées en été et des émissions faibles en hiver.

De plus, le temps d'escale et les caractéristiques des navires (jauge brute, type de moteur...) sont les deux paramètres principaux qui pilotent la quantité de polluants émis. Ce temps de stationnement planifié contribue à maintenir des niveaux d'émissions contrôlés. Grâce au partage des données, notamment l'immatriculation des navires, il est possible d'attribuer les bonnes caractéristiques des navires telles que la jauge brute et les puissances des navires afin de garantir une estimation plus fiable des émissions du secteur maritime.

Environ 30 navires ont une activité régulière dans cette zone de mouillage avec des arrivées ayant lieu le matin et des départs l'après-midi ou en soirée.

Ces observations soulignent l'importance de prendre en compte plusieurs facteurs pour comprendre les informations liées au secteur maritime.

## IV CAMPAGNE DE MESURES

Le réseau de surveillance d'AtmoSud mesure en continu sur l'ensemble de la région la majorité des polluants réglementés. La station urbaine de fond de Cannes, implantée depuis 1998 dans le quartier des Broussailles, suit en permanence les niveaux de 4 polluants réglementés :

- les oxydes d'azote NOx et NO<sub>2</sub> ;
- l'ozone O<sub>3</sub> ;
- les particules de diamètre inférieur à 10 microns (PM10) et 2,5 micromètres (PM2.5).

Du 28 juin 2022 au 17 janvier 2023, une cabine supplémentaire a été installée sur le port de Cannes (**Carte 5**) pour une campagne de mesure temporaire. Les données d'observations issues de cette cabine temporaire sont intégrées à l'ensemble du dispositif de surveillance de la qualité de l'air déployé par AtmoSud à l'échelle régionale.

Carte 5 : Implantation de la cabine de mesure AtmoSud au Port de Cannes



### IV.1 Conditions météorologiques pendant la campagne

La représentativité de la période de mesures sur l'année a été démontrée précédemment, s'appuyant sur l'historique de la station de Météo France. Comparativement à la station de Météo France, les paramètres de vent mesurés au niveau du Port du 29 juin 2022 au 17 janvier 2023 confirment la prédominance du régime de brises et révèle, en raison de la situation géographique et du relief proche, un décalage suivant la courbure du trait de côte (**Figure 6**).

Ainsi, au port, les vents dominants, de faible intensité, proviennent essentiellement du secteur Nord-Nord-Ouest (18 %) et Nord (13 %), avec l'alternance de brises du Sud-Sud-Est, moins représentées (8 %). Les situations d'Ouest-Nord-Ouest (11 %) se distinguent avec des vitesses plus soutenues, tout comme les vents en provenance d'un large secteur Est.

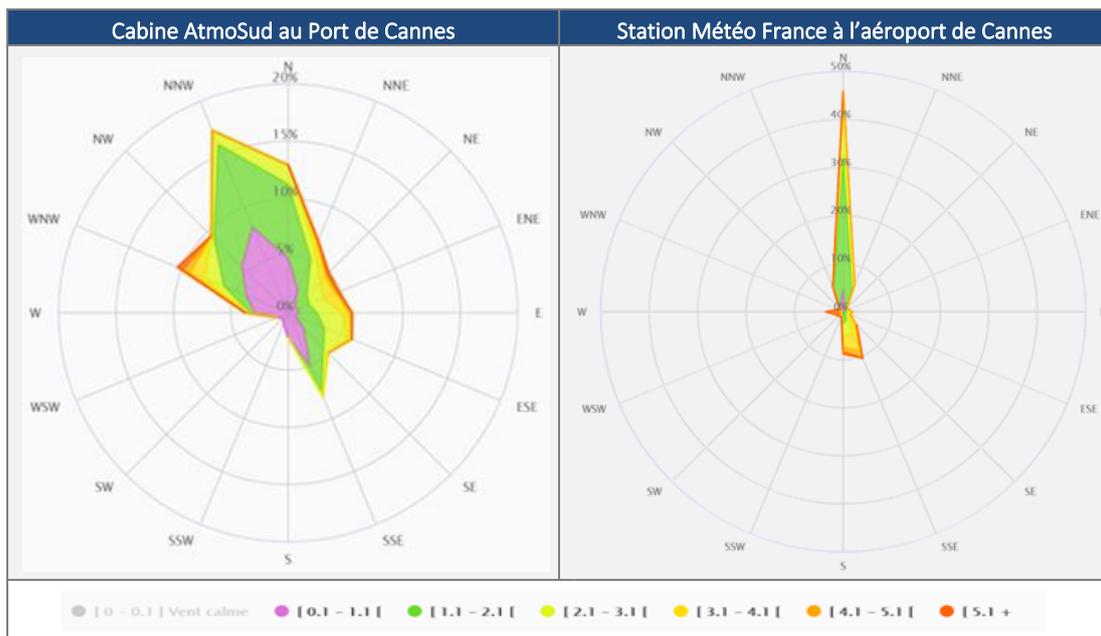


Figure 6 : Roses des vents au Port et à la station Météo France de Cannes durant la campagne

Les roses des vents mensuelles (**Annexe 4**) mettent en évidence une saisonnalité et indiquent une prédominance des vents de Sud-Sud-Est en juillet et août alors que les vents de secteur Nord-Nord-Ouest et Nord sont davantage présents sur la fin de l'année. Les vents d'Ouest-Nord-Ouest se manifestent principalement en septembre.

La vitesse des vents semble plus faible en été, avec environ 50 % des vents inférieurs à 1 m/s en juillet, août et en octobre. En revanche, les vents les plus forts sont plus fréquents en décembre et janvier et proviennent majoritairement d'un large secteur Est, quel que soit la saison.

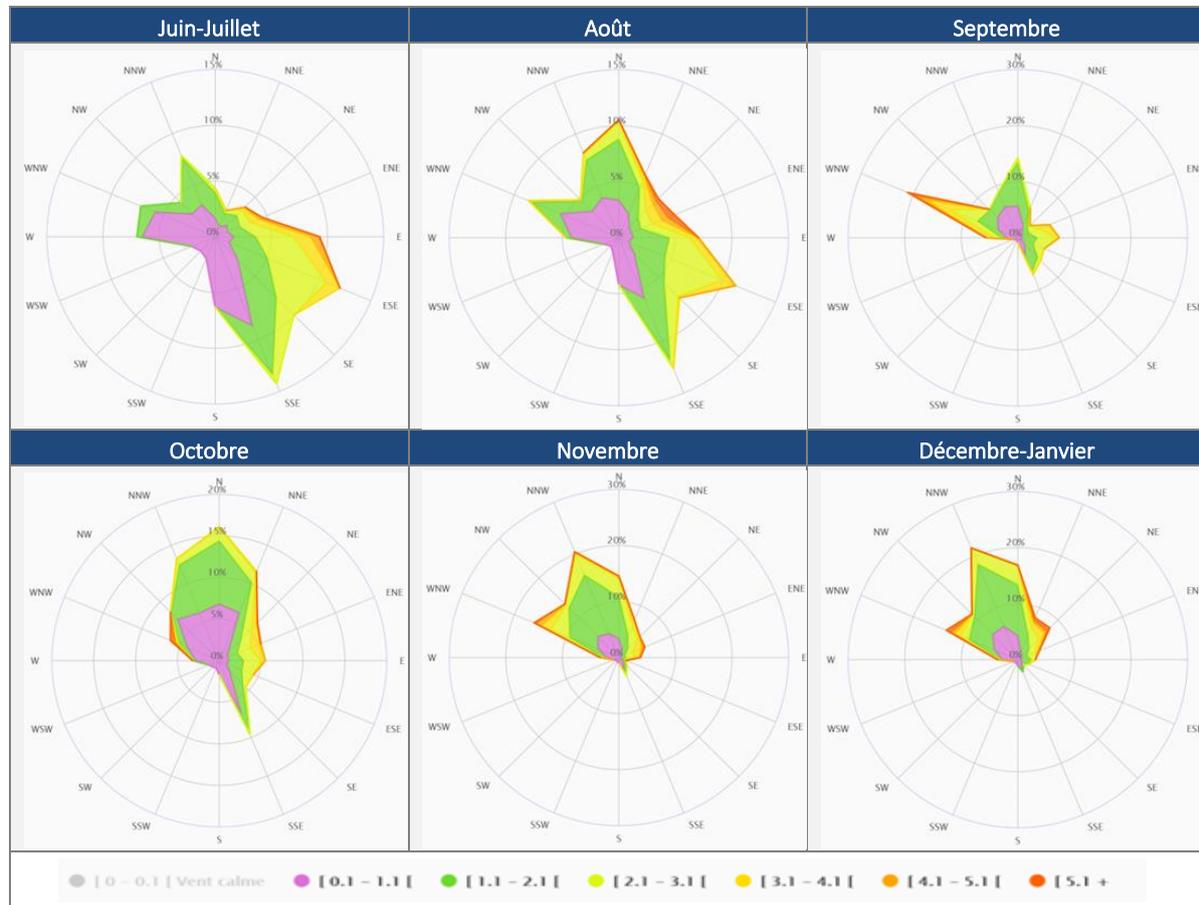


Figure 7 : Roses des vents mensuelles au port de Cannes

Durant la campagne de mesures au Port de Cannes, plusieurs situations de vents sont ainsi identifiées :

- des vents de faible vitesse, provenant essentiellement du Sud-Sud-Est en juillet-août ;
- des vents d'une plus grande intensité de Nord-Nord-Ouest, en période hivernale ;
- des vents d'Ouest-Nord-Ouest davantage présents en septembre et novembre plutôt soutenus ;
- des épisodes de vent d'Est-Nord-Est à Est, de forte intensité en août et novembre-décembre.

## IV.2 Résultats

### IV.2.1 Comparaison avec les données de la station urbaine de fond de Cannes / Broussailles

Le **Tableau 2** indique les statistiques des différents polluants sur les deux sites de Cannes.

Les valeurs journalières permettent d'isoler des journées particulières avec une forte ou une faible émission de polluants.

Les valeurs horaires donnent accès au comportement heure par heure au cours de la journée, elles peuvent aussi être mises en relation avec les données météorologiques pour identifier leurs sources.

A l'exception du dioxyde de soufre, les polluants mesurés au Port de Cannes, sont également suivis à la station urbaine de fond de Cannes / Broussailles permettant une comparaison des niveaux pendant la campagne.

Tableau 2 : statistiques des mesures de polluants au Port de Cannes et à la station fixe Cannes/Broussailles du 28 juin 2022 au 17 janvier 2023

| Concentrations en $\mu\text{g}/\text{m}^3$     | Oxydes d'azote NOx |                       | Monoxyde d'azote NO |                       | Dioxyde d'azote NO <sub>2</sub>         |                       | Particules PM2,5                                |                       | Dioxyde de soufre SO <sub>2</sub>       |
|--|--------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---|-----------------------|---|-----------------------|---|
|  | Cannes Port        | Cannes / Broussailles | Cannes Port         | Cannes / Broussailles | Cannes Port                             | Cannes / Broussailles | Cannes Port                                     | Cannes / Broussailles | Cannes Port                             |
| Taux de fonctionnement (sur la campagne)       | 98 %               | 99%                   | 98 %                | 99%                   | 98 %                                    | 99%                   | 95 %  | 97%                   | 93 %                                    |
| Moyenne sur la campagne                        | <b>31</b>          | 23                    | <b>7</b>            | 4                     | <b>20</b>                               | 17                    | 9   | 9                     | 1.2                                     |
| Estimation de la moyenne annuelle              |                    |                       |                     |                       | <b>21</b>                               | 17                    | 10  | 10                    | 1.4                                     |
| Valeur réglementaire annuelle                  |                    |                       |                     |                       | 40 : valeur limite                      |                       | 25 : valeur limite.<br>10 : objectif de qualité |                       | 50 : objectif de qualité                |
| Recommandations OMS                            |                    |                       |                     |                       | 10                                      |                       | 5   |                       |   |
| Maximum horaire                                | <b>1841</b>        | 199                   | <b>1091</b>         | 91                    | <b>274</b>                              | 187                   | <b>62</b>                                       | 45                    | 19                                      |
| Date du maximum horaire                        | 02/08<br>07h       | 12/12<br>18h          | 02/08<br>07h        | 16/12<br>18h          | 20/07<br>21h                            | 16/07<br>16h          | 14/12<br>23h                                    | 27/07<br>17h          | 15/01<br>16h                            |
| Valeur réglementaire                           |                    |                       |                     |                       | 200 à ne pas dépasser plus de 18 heures |                       |   |                       | 350 à ne pas dépasser plus de 24 heures |
| Seuil réglementaire en cas de pic de pollution |                    |                       |                     |                       | 200 : Information de la population      |                       |   |                       | 300 : Information de la population      |
| Recommandations OMS                            |                    |                       |                     |                       |   |                       |   |                       |   |
| Maximum journalier                             | <b>166</b>         | 53                    | <b>67</b>           | 18                    | <b>64</b>                               | 33                    | 21  | 22                    | 9.9                                     |
| Date du maximum journalier                     | 20/07/22           | 12/01/23              | 20/07/22            | 16/12/22              | 20/07/22                                | 13/01/23              | 28/10/22  | 27/10/22              | 15/01/23                                |
| Valeur réglementaire                           |                    |                       |                     |                       |   |                       |   |                       | 125 à ne pas dépasser 3 jours           |
| Recommandations OMS                            |                    |                       |                     |                       | 25                                      |                       | 15  |                       | 40                                      |

L'analyse des données indique un bon taux de fonctionnement sur les 6 mois de mesure, supérieur à 90 %, confirmant la bonne représentativité des mesures.

Les niveaux moyens en dioxyde de soufre sont inférieurs à ceux habituellement observés en situation de fond dans les Bouches-du-Rhône et les Alpes-Maritimes pour le SO<sub>2</sub><sup>2</sup>.

Le taux de particules PM2,5 est comparable à celui de la station de fond de Cannes/Broussailles mais inférieur à celui des sites urbains de fond de la région.

<sup>2</sup> Ces départements sont les seuls dans la région Sud à disposer de mesures de SO<sub>2</sub>

En revanche, les concentrations moyennes en NO, NO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub> sont plus élevées que sur le site permanent de Cannes/Broussailles et que la moyenne des sites urbains de fond, en relation avec les nombreuses sources potentielles autour (station de ravitaillement, parking, autres navires entrant au Port).

Les concentrations maximales horaires sont très élevées pour l'ensemble des oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>, NO et NO<sub>2</sub>). **La forte valeur en monoxyde d'azote montre en outre la proximité de la source, ce qui exclut l'origine des navires de croisière au large et/ou ancrés dans la baie.** La comparaison aux moyennes indique le caractère ponctuel de ces pics, apparaissant d'ailleurs le même jour, le 2 août à 07h pour les NO<sub>x</sub> et le NO.

Les mesures maximales journalières des oxydes d'azote confirment également un épisode particulier le 20 juillet, journée qui est modélisée en 25V.3 et détaillée en **Annexe 6**.

Le niveau général de pollution au port de Cannes relevé durant la campagne de mesures est ainsi supérieur à celui observé à la station urbaine de fond située à Cannes / Broussailles. Les maxima journaliers et horaires y sont également supérieurs pour l'ensemble des polluants, notamment les oxydes d'azote.

#### **IV.2.2 Respect de la réglementation**

Parmi les cinq polluants évalués, trois disposent de valeurs réglementaires réparties sur différentes expositions (annuelle, journalière ou horaire), indiquées en **Annexe 1**.

Le respect de la réglementation prévoit également de ne pas dépasser plus de 18 fois la valeur limite horaire de 200 µg/m<sup>3</sup> en dioxyde d'azote et plus de 24 fois la valeur limite horaire de 350 µg/m<sup>3</sup> en dioxyde de soufre.

Les mesures au Port de Cannes ayant duré 6 mois, une estimation de la moyenne annuelle (**Tableau 2**) a été réalisée afin d'établir une comparaison avec les valeurs réglementaires annuelles. Le calcul est basé sur les données des stations des Alpes-Maritimes et pour le dioxyde de soufre, sur l'ensemble des sites du réseau permanent d'AtmoSud. L'estimation de la moyenne annuelle montre une pollution de fond au Port de Cannes supérieure en dioxyde d'azote par rapport à la station urbaine de fond de Cannes / Broussailles et en dioxyde de soufre par rapport au Port de Nice. Les niveaux en particules PM<sub>2,5</sub> sont comparables au Port et à la station permanente.

Pour la pollution de pointe, c'est encore au Port qu'elle est plus forte aussi bien en dioxyde d'azote qu'en dioxyde de soufre, **signature d'une pollution d'origine maritime liée aux panaches des navires** sur le quai proche et/ou en transit dans la baie de Cannes.

L'ensemble des valeurs de référence de la réglementation européenne est respecté au Port de Cannes ainsi qu'à la station urbaine de fond d'AtmoSud de Cannes / Broussailles. En revanche, les lignes directrices de l'OMS de 2021, plus restrictives, sont dépassées en dioxyde d'azote et en particules fines PM<sub>2,5</sub> comme pour l'ensemble du territoire régional.

Sur les 6 mois de mesures, ainsi que sur l'année, les concentrations de polluants mesurées au Port de Cannes sont plus élevées qu'à la station urbaine de fond de Cannes / Broussailles.

L'estimation annuelle des niveaux de polluants au Port de Cannes indique, malgré la présence de quelques pics, le respect de la réglementation européenne pour l'ensemble des polluants.

En revanche, les valeurs des lignes directrices de l'OMS, plus contraignantes, sont dépassées pour le dioxyde d'azote NO<sub>2</sub> et les particules fines PM<sub>2.5</sub>, comme sur l'ensemble de la région.

### IV.2.3 Distribution horaire et évolution horaire

Les statistiques précédentes ont montré l'apparition de pics horaires importants. Pour en connaître la fréquence, la distribution des valeurs moyennes horaires (**Figure 8**) témoigne de la dispersion des niveaux observés.

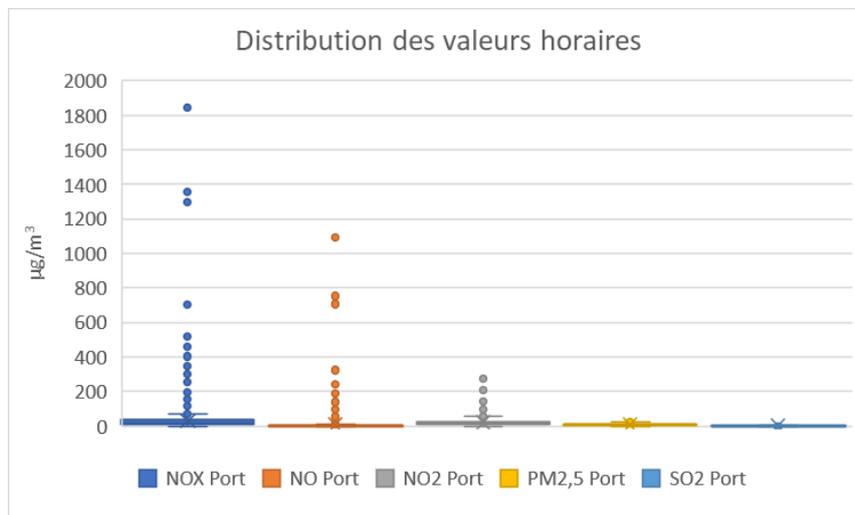


Figure 8 : Distribution des concentrations horaires des polluants au Port de Cannes du 28 juin 2022 au 17 janvier 2023

Ainsi pour les oxydes d'azote et le monoxyde d'azote, 3 valeurs très élevées se distinguent avec des maxima horaires dépassant respectivement 1800  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  et 1000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  soit près de 60 à 150 fois la valeur moyenne.

Pour le  $\text{NO}_2$ , deux valeurs maximales sont supérieures à 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  mais n'excèdent pas 280  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  et dans un rapport moindre (14) comparé à la moyenne. Ces fortes concentrations ponctuelles, n'ont qu'un impact statistique limité sur la moyenne.

L'évolution horaire souligne les fortes concentrations mises à évidence à travers l'analyse des données journalières (**Figure 9** et **Figure 10**). Ainsi, les pics des oxydes d'azote enregistrés les 20 juillet (1) et 2 août (2) apparaissent très nettement et dans une moindre mesure ceux des 12 et 15 août (3), du 30 septembre (4), des 2 et 21 novembre (5) et une série également début janvier (6).

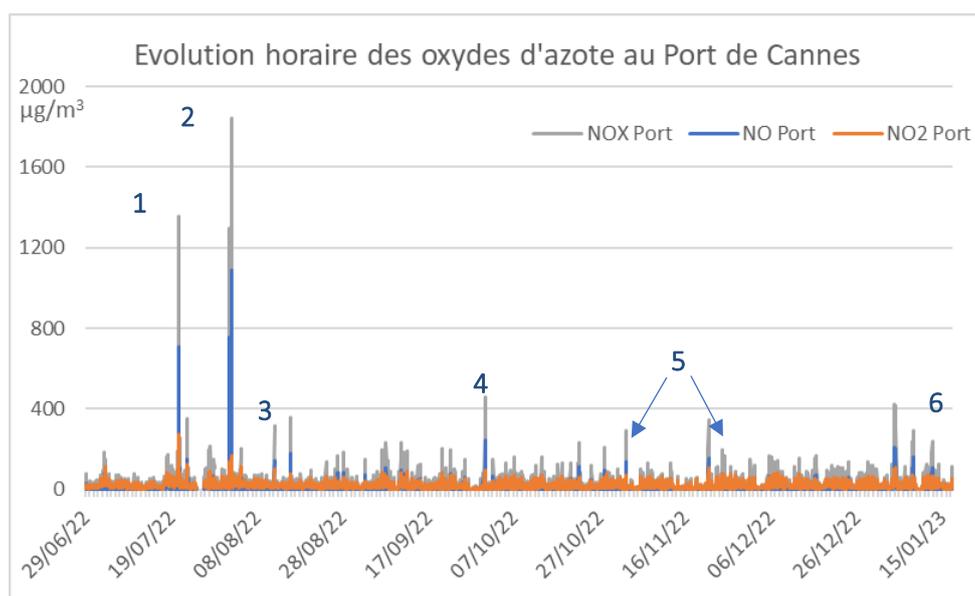


Figure 9 : Evolution horaire des oxydes d'azote au Port de Cannes du 29 juin 2022 au 16 janvier 2023

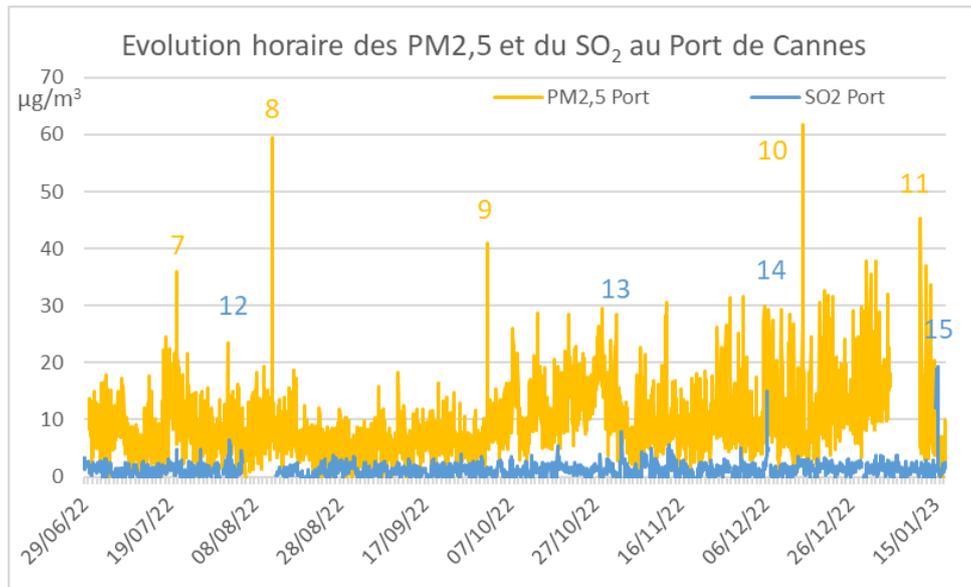


Figure 10 : Evolution horaire des PM2,5 et du dioxyde de soufre au Port de Cannes du 29 juin 2022 au 16 janvier 2023

L'intensité de ces pics est fréquemment corrélée au monoxyde d'azote et beaucoup moins au dioxyde d'azote, ce qui indique ainsi la proximité de la source de pollution, le monoxyde d'azote n'ayant pas le temps de s'oxyder avec l'oxygène de l'air. Il s'agit potentiellement de navires à quai pour le ravitaillement ou de NO<sub>2</sub> en provenance du parking situé au Nord.

Le profil des PM<sub>2,5</sub> présente une forte variabilité avec des concentrations élevées de mi-juillet à mi-août, comprenant les pics des 20 juillet (7) et 12 août (8), en octobre (9) puis dès le 14 décembre (11) jusqu'à la fin des mesures mi-janvier (11).

Enfin le dioxyde de soufre dont le comportement est plus stable et homogène que les autres polluants, affiche des pics importants les 6 décembre (14) et le 15 janvier (15) mais également le 2 août (12) et le 2 novembre (13), conjointement aux pics d'oxydes d'azote.

Ponctuellement quelques fortes concentrations horaires ressortent pour l'ensemble des polluants, notamment le 20 juillet, les 1<sup>er</sup> - 2<sup>er</sup> août, les 30 septembre - 1<sup>er</sup> octobre et début janvier.

La corrélation entre polluants et notamment avec le dioxyde de soufre, traceur de l'activité maritime, témoigne d'une source due à l'activité maritime et non au trafic automobile.

Les fortes concentrations en monoxyde d'azote indique la proximité de la source d'émissions et potentiellement, il pourrait s'agir des navires en ravitaillement sur le quai. La comparaison avec les données de vent permettra d'en identifier plus clairement l'origine.

#### IV.2.4 Evolution journalière et profil moyen journalier

L'évolution journalière de l'ensemble des NO<sub>x</sub> présente des variations notoires durant les 6 mois de mesures. Elle confirme les périodes de forte pollution fin juillet/début août et début janvier (**Figure 11**). Ainsi, ces mêmes pics relevés en valeurs horaires, au-delà de leur caractère ponctuel au cours de l'été, ont une influence sur l'ensemble de la concentration journalière en polluants. En revanche, le comportement des particules fines et du dioxyde de soufre est plus homogène, affichant néanmoins quelques hausses fin juillet ainsi qu'en octobre-novembre.

L'analyse de quelques journées est détaillée en **Annexes 5 et 6** avec la prise en compte de la présence ou non de navires ancrés en baie de Cannes et des paramètres de vent.

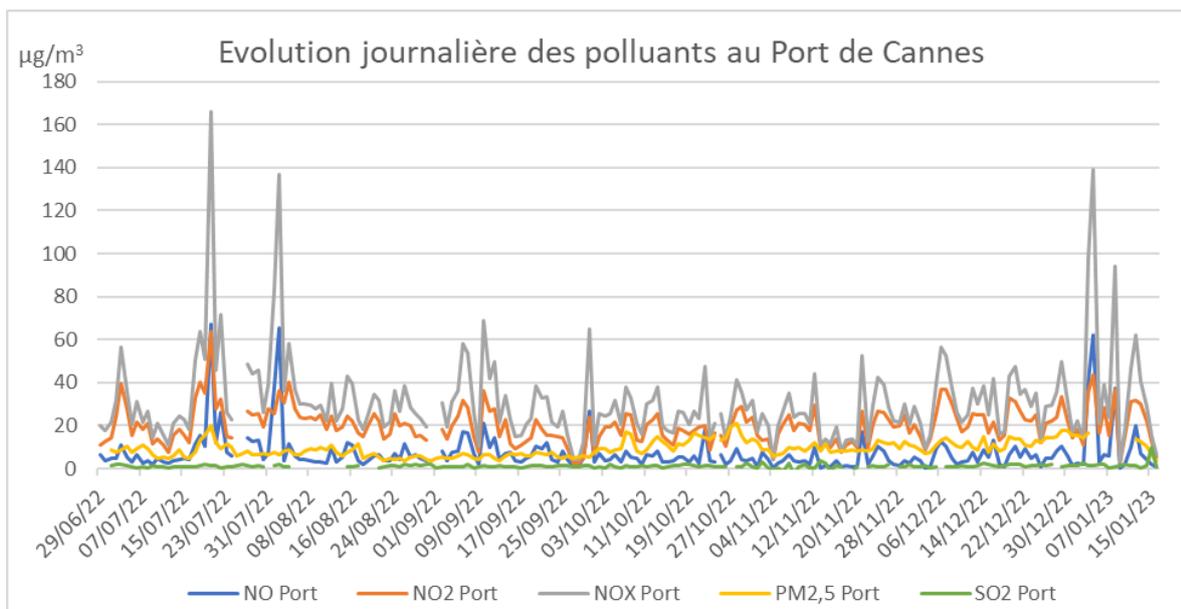


Figure 11 : Evolution journalière des polluants au Port de Cannes du 29 juin 2022 au 16 janvier 2023

Le profil moyen journalier montre l'évolution des composés au cours d'une journée-type (Figure 12).

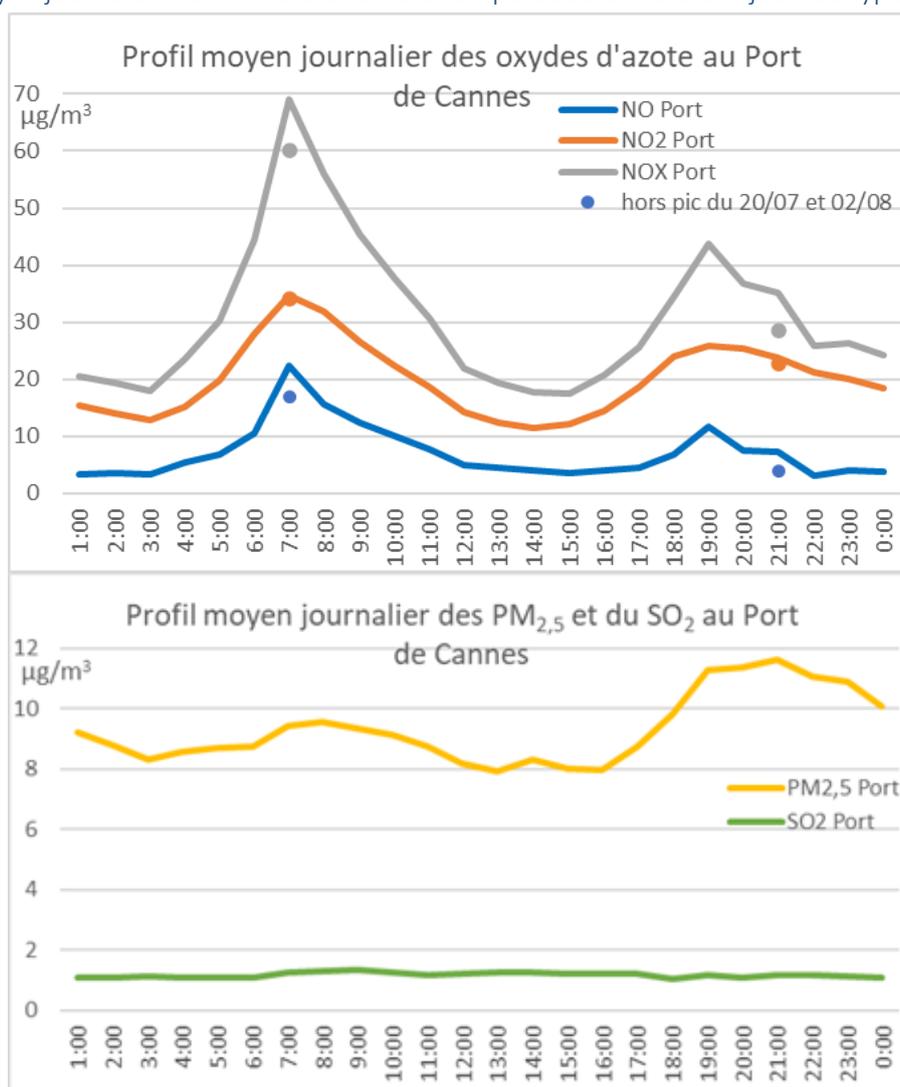


Figure 12 : Profil moyen journalier des polluants au Port de Cannes du 28 juin 2022 au 17 janvier 2023

Plusieurs évolutions apparaissent :

- Les oxydes d'azote montrent des hausses le matin et le soir correspondant aux pics de trafic ;
- les particules fines évoluent de manière plus lissée avec une augmentation en fin de journée ;
- le dioxyde de soufre est quasi constant.

Cependant, le profil moyen des oxydes et du monoxyde d'azote est influencé par les deux pics du 20 juillet et du 2 août (représentés par les points sur la **Figure 12**). Ainsi, sans ces pics, les concentrations horaires de NO sont inférieures de 30 à 90 % et celles de NOx de 15 à 23 %. L'impact du dioxyde d'azote se limite à moins de 5 %, confirmant ainsi la proximité de la source. La comparaison avec les régimes de vent permet également de mieux comprendre les variations de cette évolution.

En revanche, les valeurs maximales pour les particules fines PM2,5 et le dioxyde de soufre, n'ont pas d'influence significative sur le comportement moyen journalier.

La moyenne journalière et le profil moyen journalier pour les oxydes d'azote et le monoxyde d'azote sont influencés par les niveaux horaires élevés du 20 juillet et du 2 août.

## V DISCUSSION

### V.1 Dans quelles situations, les polluants du transport maritime liés aux activités du port peuvent-ils avoir une influence sur la qualité de l'air du centre urbain de Cannes ?

Afin d'identifier un éventuel transfert de pollution du port vers la ville de Cannes, les données relevées par la cabine du port sont comparées à celles de la station urbaine de fond de Cannes / Broussailles, en tenant compte de la direction des vents.

Comme montré sur la **Carte 6**, la majorité des vents durant la campagne provient d'un large secteur Nord-Ouest. Cela positionne plus fréquemment le port sous les vents en provenance de la ville. Cependant dans quelques situations particulières, certains quartiers de la ville sont exposés aux polluants émis au niveau du port. C'est le cas par vent d'Ouest-Nord-Ouest/Nord-Ouest lorsque les vents orientent la pollution vers Pointe Croisette et par vent de Sud-Sud-Est, lorsque les polluants émis en mer sont dirigés vers la ville où se situe la station de mesure urbaine de fond de Cannes / Broussailles.



Carte 6 : Identification de la provenance des vents au port de Cannes et transfert possible

#### V.1.1 Situation de vents de secteur d'Ouest-Nord-Ouest/Nord-Ouest – 21% de l'année

Dans cette situation, plus fréquemment observée au mois de septembre (29 %) et de novembre à janvier (27 %), les vitesses associées sont parmi les plus élevées et donc favorables à une bonne dispersion des polluants. En période estivale, elle est moins fréquente (12 % du temps) avec des vitesses plus faibles.

De fait, les concentrations moyennes en dioxyde d'azote en été sont plus élevées que celles en période hivernale. La tendance est cependant inverse pour la moyenne de PM<sub>2,5</sub>, inférieure d'environ 30 % en été par rapport à l'hiver, en raison de la hausse générale à l'échelle régionale du taux de PM<sub>2,5</sub> dans l'air à partir de fin octobre, liée à l'ajout de sources comme le chauffage résidentiel. Les maxima de ces polluants (NO<sub>2</sub>, PM<sub>2,5</sub>) également sont supérieurs en juillet/août, alors que le dioxyde de soufre présente lui une forte valeur le 15 janvier, probablement due à un navire amarré à proximité de la cabine.

### *V.1.2 Situation de vents de secteur Sud-Sud-Est – 8 % de l'année*

C'est le régime de vent estival le plus représenté (14 %) également présent 9 % du temps en septembre et octobre. Ces vents sont plutôt de faible intensité, ce qui limite la dispersion des polluants. Par conséquent, les concentrations des polluants sont largement supérieures à celles de la fin de l'année, excepté pour les PM<sub>2,5</sub> comme précédemment cité.

Les polluants émis au port ne peuvent être dispersés vers la ville et atteindre la station urbaine de fond de Cannes / Broussailles que dans un régime de vent de Sud-Sud-Est : c'est arrivé principalement en été (juillet-août) et lors de quelques épisodes en automne (septembre-octobre).

Dans cette situation particulière, la station de Cannes / Broussailles, bien que sous le vent de la pollution émise en aval (y compris celle émise au niveau du port) reste davantage exposée à une pollution de typologie de fond.

En complément de l'analyse des mesures, la modélisation de la dispersion des émissions de navire de croisière a montré que dans ce régime de vent particulier, les panaches peuvent atteindre la ville de Cannes (impact détaillé au chapitre **V.3**). Néanmoins, cet impact est limité grâce au brassage dynamique de l'air entre le point d'ancrage des paquebots et la ville.

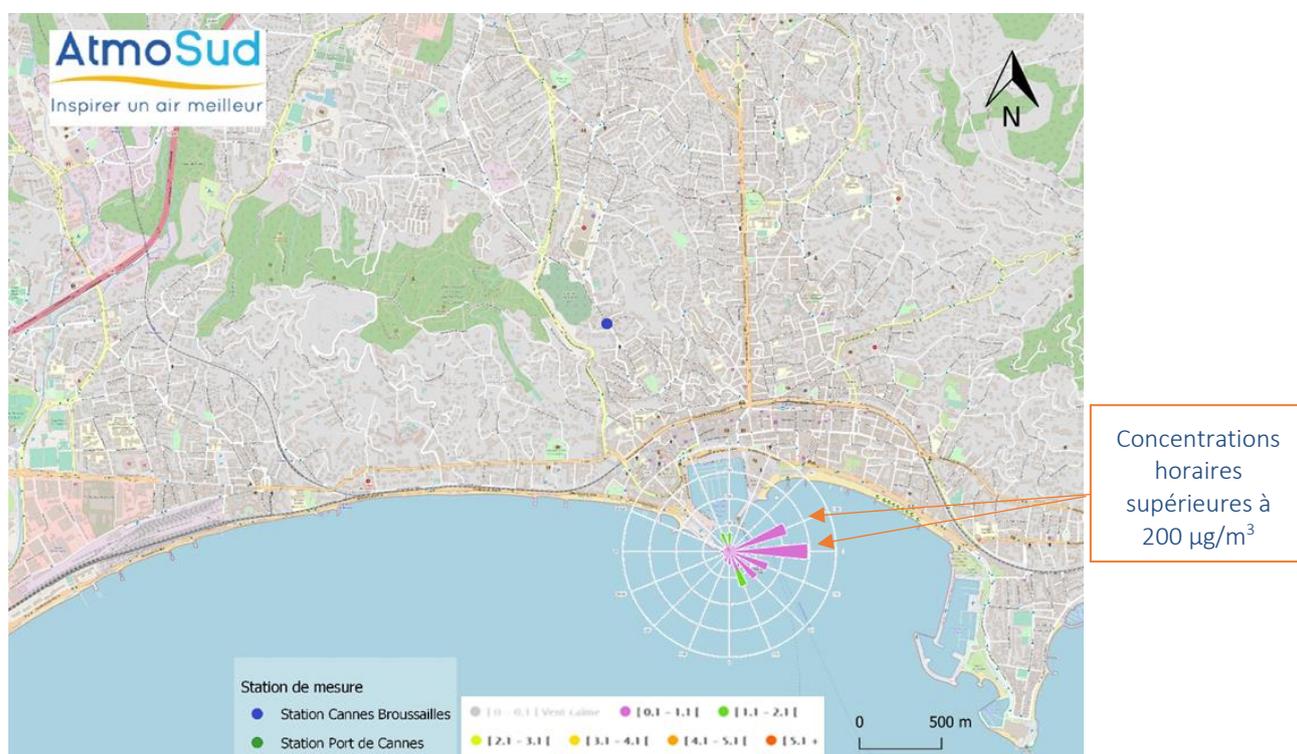
Les polluants émis au Port de Cannes ne sont dirigés vers la ville que lorsque le vent provient d'Ouest-Nord-Ouest/Nord-Ouest (quartier Pointe Croisette) ou de Sud-Sud-Est (quartier du vieux Port et du Riou). En période estivale, ces directions de vent sont observées entre 12 % et 14% du temps et avec une faible intensité, limitant la dispersion de la pollution et son transfert.

## V.2 Les pics observés au Port sont-ils liés aux navires ancrés en baie de Cannes ?

Afin d'identifier l'origine des pics de fortes concentrations en fonction de la présence ou non des sources potentielles, les mesures sont comparées avec le planning de présence des navires de croisières en baie de Cannes (**Annexe 5**). Cela permet de caractériser des journées particulières avec des pics de pollution et de discuter leur origine.

### ► Pics de dioxyde d'azote

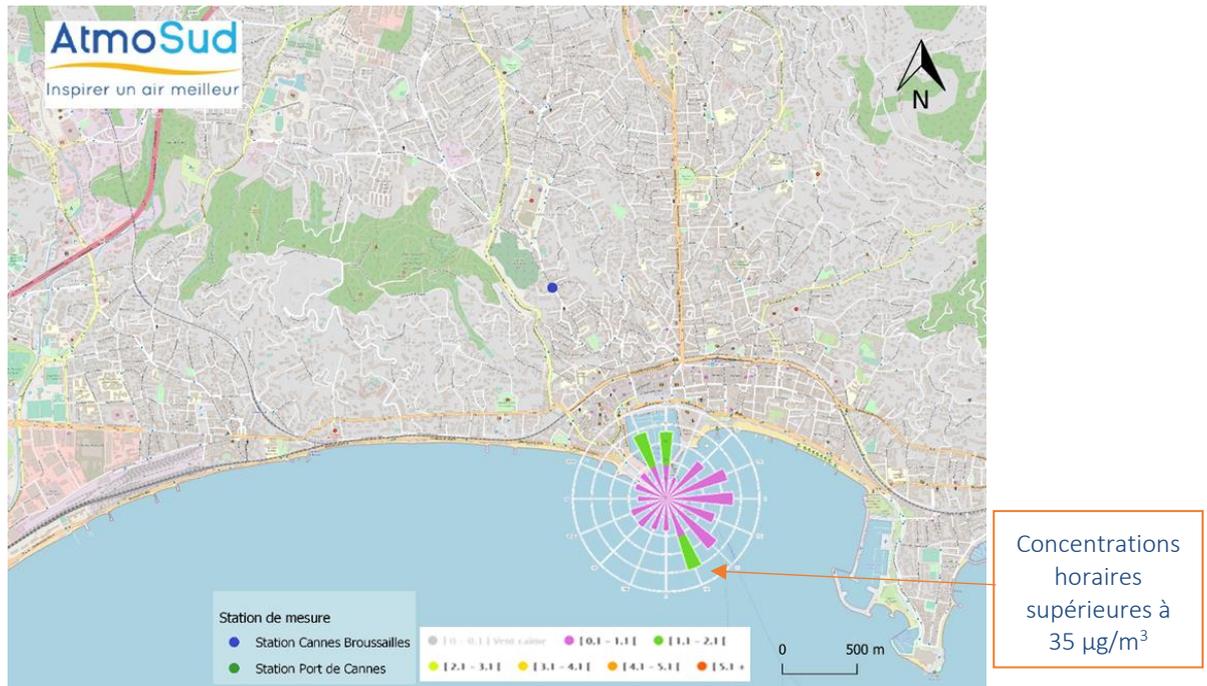
Deux valeurs horaires de  $\text{NO}_2$  dépassent  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  au niveau de la cabine du port. Bien que deux navires soient présents cette journée du 20 juillet, ces pics sont associés à de fortes concentrations en monoxyde d'azote (désignant davantage une source à proximité). Ils sont observés par vent d'Est, Est-Nord-Est et semblent avoir un impact local car les vents sont de faible intensité. La carte suivante montre la rose de pollution pour le 20 juillet. L'analyse de cette journée est détaillée en **Annexe 6**.



Carte 7 : Rose de pollution au dioxyde d'azote le 20 juillet 2023 à la station du Port de Cannes

### ► Pics de particules $\text{PM}_{2,5}$

Pour les  $\text{PM}_{2,5}$  cinq pics horaires sont relevés (Figure 10) et un seul se produit une journée où un navire est présent en baie de Cannes, le 20 juillet. Au moment du pic, les vents viennent du Sud-Sud-Est, ce qui désigne une source en baie de Cannes, potentiellement un navire à l'ancre ou qui rentre au Port. En effet, cette hausse en particules apparait avant l'augmentation en monoxyde et dioxyde d'azote, et par vent d'Est.



Carte 8 : Rose de pollution aux PM2,5 le 20 juillet 2023 à la station du Port de Cannes

Deux pics en PM2,5 sont également relevés (12 août et 1<sup>er</sup> octobre - détaillée en **Annexe 6.**) lorsque les vents proviennent de l'Ouest-Nord-Ouest, ce qui est une situation pénalisante pour le quartier de la pointe Croisette. Cependant aucun navire n'est présent en baie de Cannes lors de ces journées. Cela implique que dans le premier cas, la pollution est attribuée à une source proche de la station du Port en raison d'une hausse du monoxyde d'azote et d'une faible vitesse de vent (possiblement le parking ou l'embarcadère des Iles de Lérins) et dans le second cas, à un possible réenvol de particules lié à des conditions de vent particulièrement dispersives (vitesse supérieure à 6 m/s).

#### ► Pics de SO<sub>2</sub>

Une douzaine de concentrations horaires en SO<sub>2</sub> supérieures à 10 µg/m<sup>3</sup> est enregistrée le 6 décembre et le 15 janvier alors qu'aucun navire de croisière n'est ancré en baie de Cannes.

Les concentrations maximales horaires en dioxyde d'azote observées au port de Cannes sont enregistrées dans deux situations : une première avec des vents de secteur Est, et dans ce cas, l'origine de ces pics ne peut pas être attribuée aux navires ancrés en baie de Cannes mais plutôt aux navires venant au ravitaillement, et une seconde avec des vents de Sud-Est/Sud-Sud-Est. Cette dernière est la seule situation pour laquelle la pollution des navires de croisière est susceptible d'atteindre le Port, ce qui représente 6 % des cas.

Lorsque les vents proviennent du secteur Nord-Ouest, la source d'émission est localisée soit à l'embarcadère des Iles de Lérins soit au bassin du Port mais n'est pas liée aux navires de croisières.

Seul un pic de particules fines PM2,5 est relevé par vent de Sud-Est/Sud-Sud-Est, en présence d'un navire en baie de Cannes et potentiellement attribuable à cette source. Les autres pics sont observés en absence de navires à l'ancre et semblent davantage liés à une source automobile (parking au Nord-Ouest) ou au phénomène de remise en suspension de particules dû à l'intensité du vent.

Les maxima en dioxyde de soufre ne sont pas associés à la présence de navires à l'ancre. Cependant la source maritime est avérée, de par la nature même de ce polluant, et peut être située sur les autres quais.

### V.3 Quelle est la dynamique des panaches de navire de croisière par rapport à la ville de Cannes ?

La mesure à l'échelle horaire ne suffit pas à déterminer l'impact sur la ville des panaches de navires. Ainsi, des simulations de dispersion des émissions des navires de croisières durant certaines journées ont permis de visualiser et de quantifier leurs impacts sur la ville de Cannes. Pour cela, les conditions météorologiques mesurées par la cabine de mesure du Port et les émissions estimées dans le chapitre III.4 ont été utilisées.

Réalisées avec le modèle PMSS (voir la description du modèle, les hypothèses utilisées et la validation des résultats du modèle en **Annexe 7 et 8**), ces modélisations à **10 m de résolution** localisent les zones où les polluants se concentrent et impactent le plus la ville. Cela est notamment possible grâce aux modélisations des champs de vent à haute résolution qui prennent en compte le bâti ainsi que la topographie du lieu afin de reproduire au mieux les turbulences et dynamiques des masses d'air en ville.

#### V.3.1 Analyse spatiale

Comme évoqué précédemment, les situations de vent Sud-Sud-Est sont propices à amener des polluants liés aux activités maritimes. Lors de ces situations et en présence de navires de croisière dans la baie, les scénarisations grâce aux modèles ont montré que :

- A moins d'un kilomètre du rivage, les concentrations les plus fortes sont en moyenne modélisées entre 40 et 60 mètres au-dessus de la mer. Cet effet est modulé par la physique de l'atmosphère, très variable en journée et lié aux conditions météorologiques (ensoleillement, pression, nébulosité...).
- L'éloignement important dans la baie des navires de croisière permet de réduire leur impact d'un facteur 3 en moyenne par rapport à une situation où ils stationneraient à quai.
- Au niveau du rivage, un apport supplémentaire des polluants sur le pourtour de la ville est lié à la présence de bâtiments qui freinent la circulation des panaches (voir **Figure 13**, zones entourées en bleu). A cet endroit<sup>3</sup>, les concentrations de PM2.5 au sol qui sont liées aux émissions de navires peuvent atteindre localement jusqu'à une surconcentration de +2.5 µg/m<sup>3</sup> sur une heure (respectivement 137.6 µg/m<sup>3</sup> et 3.4 µg/m<sup>3</sup> pour les concentrations de NOx et de SO<sub>2</sub>) qui s'ajoutent aux concentrations déjà présentes dans l'air ambiant.
- À l'intérieur de la ville, les concentrations dues aux navires sont également présentes dans certaines rues où la circulation des masses d'air est difficile et piège une partie des émissions maritimes entre les bâtiments (voir **Figure 13**, les zones entourées en orange).

---

<sup>3</sup> Représentatif de la situation la plus défavorable : direction de vent sud-est et navire de croisière avec des émissions importantes



Figure 13 : Concentrations de PM2.5 modélisées à partir des émissions des navires de croisières présents dans la baie de Cannes le 20 juillet et 19 août 2022

- La ville de Cannes étant assez éloignée du point de mouillage des navires de croisière (plus de 1500 mètres), les concentrations modélisées sont relativement constantes sur la verticale (que ce soit en bord de mer ou à l'intérieur de la ville), n'induisant pas de concentrations plus élevées aux étages supérieurs des bâtiments d'habitation (**Figure 14**). Ce constat est dû au phénomène physique de diffusion des polluants dans l'air ambiant, tout le long du trajet du panache.

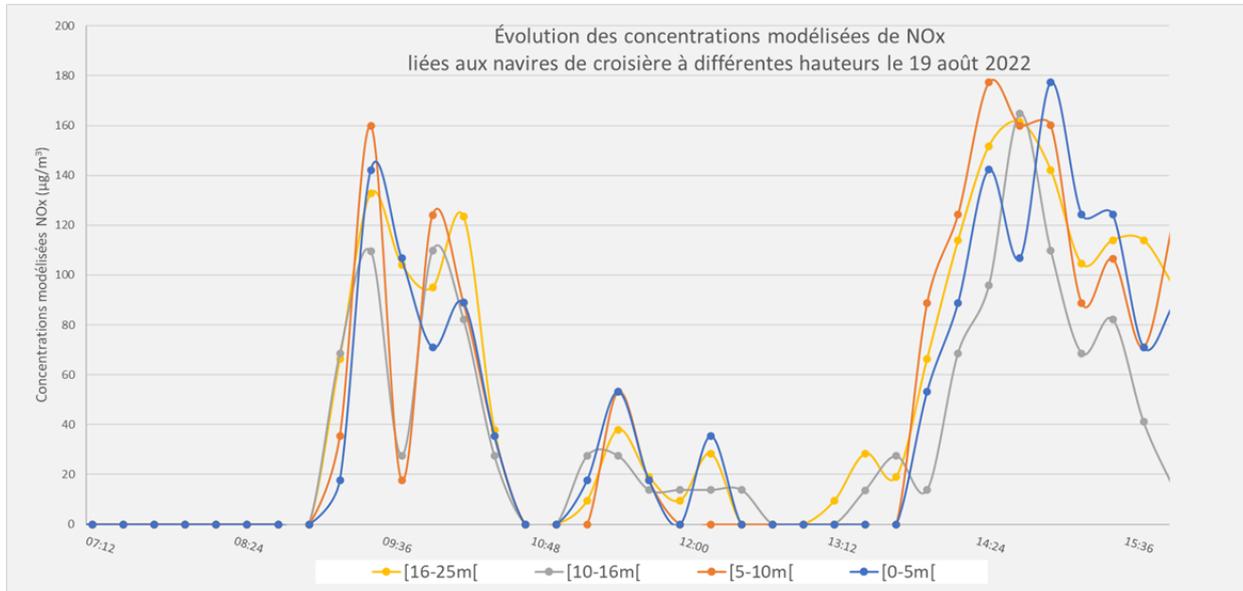


Figure 14 : Évolution des concentrations modélisées de NOx à différentes hauteurs pour la journée du 19 août 2022 sur un point du Boulevard de la Croisette.

Les concentrations des panaches de navires sont étroitement liées aux dynamiques des vents locaux. La distance importante entre le point de mouillage des navires de croisière (1500 m) et la ville de Cannes permet aux panaches de navires de se disperser efficacement (abattement d'un facteur 3). Ainsi, les concentrations de polluants sont réduites en arrivant sur la ville.

Pour les situations les plus polluantes de la saison 2022 (navire ancré et vents de secteur Sud-Sud-Est), cet impact se caractérise par un apport de concentration pouvant aller jusqu'à  $+2.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en particules fines PM<sub>2.5</sub> localement et avec des conditions de vents défavorables.

### V.3.2 Analyse temporelle

La durée d'impact du panache de navire sur la ville dépend de la durée pendant laquelle le vent est dans la direction de la ville (les points verts sur le graphique).

Une fois le navire parti, ou si le vent change de direction (les secteurs de vents n'ayant pas d'impact sur la ville sont représentés en jaune), les concentrations de polluants mettent en moyenne **une vingtaine de minutes** sur une zone de 100 m<sup>2</sup> avant de revenir à des niveaux sans émission de navire de croisière (Figure 15). Ce phénomène est visible sur le graphe lorsque le vent change de direction à midi (courbe orange).

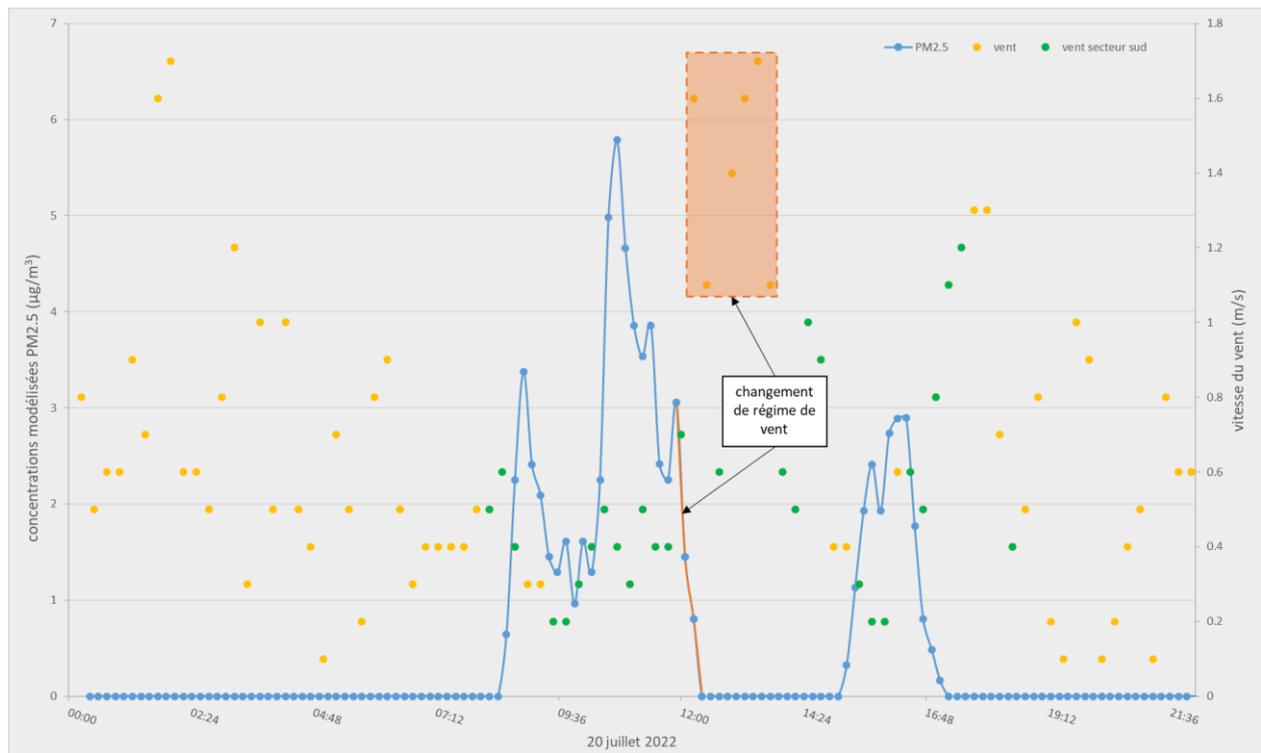


Figure 15 : Évolution des concentrations modélisées de PM2.5 et de la vitesse du vent pour la journée du 20 juillet 2022 sur un point de la Croisette à Cannes

Lors de précédentes études menées par AtmoSud et le Laboratoire de Chimie Environnement, la caractérisation physique et chimique des panaches de navires à Marseille et Toulon a été étudiée.

Les campagnes de mesures avaient notamment révélé que la durée d'un panache de navire mesuré par des instruments était de 7 minutes en moyenne<sup>4</sup>.

La brièveté caractérisée de ce phénomène de panache, rend donc sa détection difficile à l'aide des analyseurs avec des fréquences d'échantillonnage inférieures.

<sup>4</sup> Le Berre, L., 2022. Evolution physique et chimique des particules fines produites par le trafic maritime en zone portuaire et en champs proche (No. Rapport d'avancement 3). ADEME - LCE, Marseille

## VI CONCLUSION

La présente étude vise à éclairer la situation de la qualité de l'air sur le vieux port de Cannes au regard des polluants atmosphériques émis par l'activité maritime et en particulier ceux liés aux émissions par les navires de croisières.

Réalisée dans le cadre de la collaboration entre AtmoSud et la Communauté d'Agglomération de Cannes Pays de Lérins, cette étude apporte :

- une meilleure évaluation des émissions maritimes, issue des données des navires en escale au port de Cannes ou ancrés dans la baie ;
- une qualification de la qualité de l'air sur le littoral cannois en lien avec l'activité portuaire avec la réalisation de mesures spécifiques sur le port et une évaluation de la conformité réglementaire ;
- une évaluation de l'impact de la pollution émise par les bateaux de croisière sur la ville grâce à la modélisation numérique de la dispersion des panaches des navires et de la retombée des polluants atmosphériques en ville.

A travers la mise en œuvre d'une campagne de mesures spécifiques sur le port de Cannes (juin 2022 – janvier 2023) et de simulations numériques de la dispersion des panaches des navires ancrés dans la baie pour plusieurs conditions de vent, elle s'attache également à répondre aux questionnements suivants :

- Dans quelles situations les polluants du transport maritime liés aux activités du Port ont-ils une influence sur la qualité de l'air du centre urbain de Cannes ?
- Les pics observés sont-ils liés aux navires ancrés en baie de Cannes ?
- Quelle est la dynamique des panaches de navire de croisière par rapport à la ville de Cannes ?

### ► Des émissions liées aux durées des escales plus importantes en période estivale

L'inventaire des émissions maritimes a pu être affiné avec l'intégration des données réelles de 2022 transmises par IGY-Marinas. Bien que plus détaillées, ces informations ne recensent que les paquebots et pas les navires de plaisance. Cependant, elles confirment la variation saisonnière avec des émissions élevées en été et faibles en hiver et l'importance du temps d'escale et des caractéristiques des navires (jauge brute, type de moteur...) sur la quantité de polluants émis. Ces renseignements permettent de connaître précisément les émissions de la trentaine de navires habituellement en baie de Cannes et d'identifier les leviers pour une meilleure gestion de l'activité maritime.

### ► Une qualité de l'air qui respecte la réglementation mais un impact significatif de l'activité portuaire estivale

Les niveaux de pollution sur le quai du Large du port de Cannes, estimés sur l'année, respectent la réglementation et sont supérieurs aux niveaux de fond urbain influencés par les autres secteurs émetteurs tels que le transport routier, le résidentiel ou l'industrie.

Durant la campagne de mesure (juin 2022-janvier 2023), les concentrations sont également plus élevées au Port de Cannes qu'à la station urbaine de fond de Cannes / Broussailles, notamment pour les oxydes d'azote en juillet et août. Ce résultat est en cohérence avec une pollution maritime ponctuelle par les panaches des fumées des navires et non pas continue comme celle du trafic routier. Les fortes valeurs de NOx mesurées sur le Port de Cannes désignent une source due à l'activité maritime à proximité du point de mesures et très probablement liée aux navires stationnés au ravitaillement proche de la station.

### ► Le rôle des conditions de vent dans la dispersion des polluants et leur impact sur la ville

En fonction des conditions de vent, les polluants ont un impact différencié sur certains quartiers de la ville de Cannes. Les conditions les plus défavorables pour la qualité de l'air sont les vents de secteur

Ouest-Nord-Ouest/Nord-Ouest qui touchent le quartier de Pointe Croisette et les vents de secteur Sud-Sud-Est qui touchent le quartier du vieux Port et le Riou.

Le premier cas représente 21 % des vents dans l'année mais apparaît principalement en automne avec des vitesses assurant une bonne dispersion des polluants. La deuxième situation de vent pénalisante est moins fréquente sur l'année (8% du temps) mais davantage présente en été (14% du temps).

Dans ces situations pénalisantes pour la ville, les modélisations de certaines journées estiment un apport supplémentaire en particules PM2.5 jusqu'à +2.5 µg/m<sup>3</sup> sur 1h et ce, très localement. En effet, les navires étant positionnés au point de mouillage à 1.5 km au large, le phénomène de dispersion réduit de manière importante les concentrations de polluants au niveau de la ville (d'un facteur 3 par rapport à une situation où le navire est à quai). De plus, le relief et le bâti de la zone littorale peuvent bloquer la circulation des panaches et entraîner leur accumulation à certains endroits.

#### ► **Un impact ponctuel et intermittent des navires sur la qualité de l'air de la ville de Cannes**

Il ressort de cette étude que les paquebots n'ont pas d'impact chronique sur la qualité de l'air de la ville de Cannes, du fait notamment de la dilution des concentrations liée à l'éloignement du point de mouillage. De plus, la pollution maritime étant une pollution de panaches étroits et d'une durée moyenne de 7 minutes, le positionnement d'une cabine de mesure parfaitement dans l'axe des panaches pour en mesurer les concentrations à haute fréquence est complexe. En revanche, des points potentiels de fortes émissions de polluants ont été identifiés comme le site de ravitaillement ou le parking du quai du Large, exempts cependant de riverain immédiat.

#### ► **Perspectives**

Afin de poursuivre l'amélioration de la connaissance de la qualité de l'air sur le port de Cannes, et la quantification de l'impact de la pollution maritime sur celle-ci, plusieurs possibilités sont envisagées :

- l'extension des durées de modélisation afin de disposer des contributions des émissions de tous les navires sur une année ;
- la réalisation de mesures à une plus haute fréquence pour les polluants classiques ;
- la mise en place d'un compteur de particules ultra fines (PUF), le nombre de particules étant un bon critère de détermination d'une pollution liée à un panache de navire ;
- l'évaluation de l'impact de la grande plaisance et du yachting, qui sont deux types d'émissions polluantes non pris en compte dans cette étude.

Par ailleurs, les travaux de modernisation du Port de Cannes (enterrement du parking derrière le quai du Large, installation de jardins à la place et raccordement à quai de la petite plaisance) prévus pour 2026 devraient déjà contribuer à améliorer l'état de la qualité de l'air, en diminuant les émissions d'oxydes d'azote liées à la plaisance et au parking. La poursuite des mesures envisagées permettra de suivre les conséquences de ces aménagements sur la qualité de l'air.

## GLOSSAIRE

### Définitions

**Lignes directrices OMS :** Seuils de concentration définis par l'OMS et basés sur un examen des données scientifiques accumulées. Elles visent à offrir des indications sur la façon de réduire les effets de la pollution de l'air sur la santé. Elles constituent des cibles à atteindre qui confère une protection suffisante en termes de santé publique.

**Pollution de fond et niveaux moyens :** La pollution de fond correspond à des niveaux de polluants dans l'air durant des périodes de temps relativement longues. Elle s'exprime généralement par des concentrations moyennées sur une année (pour l'ozone, on parle de niveaux moyens exprimés généralement par des moyennes calculées sur huit heures). Il s'agit de niveaux de pollution auxquels la population est exposée le plus longtemps et auxquels il est attribué l'impact sanitaire le plus important.

**Pollution de pointe :** La pollution de pointe correspond à des niveaux de polluants dans l'air durant des périodes de temps courtes. Elle s'exprime généralement par des concentrations moyennées sur la journée ou l'heure.

**Seuil d'alerte à la population :** Niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère, au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine ou la dégradation de l'environnement, justifiant l'intervention de mesures d'urgence.

**Seuil d'information-recommandations à la population :** Niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère, au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine des groupes particulièrement sensibles de la population, rendant nécessaires des informations immédiates et adéquates.

**Valeur limite :** Un niveau de concentration fixé sur la base des connaissances scientifiques, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine et/ou l'environnement dans son ensemble, à atteindre dans un délai donné et à ne pas dépasser une fois atteint.

**Particules d'origine secondaires :** Les particules secondaires résultent de la conversion en particules, des gaz présents dans l'atmosphère. Cette conversion, soit directement gaz-solide, soit par l'intermédiaire des gouttes d'eau, est appelée nucléation. La nucléation est le mécanisme de base de la formation des nouvelles particules dans l'atmosphère. Les principaux précurseurs impliqués dans la formation des particules secondaires sont le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), les oxydes d'azote (NOx et

nitrate), les composés organiques volatils (COV) et l'ammoniac (NH<sub>3</sub>). Les particules secondaires sont essentiellement des particules fines (<2.5 µm).

### Sigles

**CACPL :** Communauté d'Agglomération de Cannes et du Pays de Lérins

**CIGALE :** Consultation d'Inventaires Géolocalisés Air Climat Energie

**ICPE :** Installations Classées pour la Protection de l'Environnement

**INSEE :** Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques

**LCSQA :** Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air

**LD :** Lignes directrices

**OMS :** Organisation Mondiale de la Santé

**PMSS :** Parallel Micro Swift Spray (modèle 3D de dispersion des polluants)

**PPA :** Plan de Protection de l'Atmosphère

### Unité de mesures

**µg/m<sup>3</sup> :** microgramme par mètre cube d'air (1 µg = 10<sup>-6</sup> g = 0,000001 g)

**TU :** Temps Universel

### Polluants

**NO / NO<sub>2</sub> :** Monoxyde d'azote / Dioxyde d'azote

**NOx :** Oxydes d'azote

**PM 2.5 :** Particules de diamètre aérodynamique < 2,5 µm

**SO<sub>2</sub> :** Dioxyde de soufre

**SOx :** Oxydes de soufre

### Classification des sites de mesure

Cette classification a fait l'objet d'une mise à jour au niveau national en 2015. Les stations de mesures sont désormais classées selon 2 paramètres : leur environnement d'implantation et l'influence des sources d'émission.

#### Environnement d'implantation

- Implantation urbaine : Elle correspond à un emplacement dans une zone urbaine bâtie en continu, c'est-à-dire une zone urbaine dans laquelle les fronts de rue sont complètement (ou très majoritairement) constitués de constructions d'au minimum deux étages
- Implantation périurbaine : Elle correspond à un emplacement dans une zone urbaine

majoritairement bâtie, constituée d'un tissu continu de constructions isolées de toutes tailles, avec une densité de construction moindre

- Implantation rurale : Elle est principalement destinée aux stations participant à la surveillance de l'exposition de la population et des écosystèmes à la pollution atmosphérique de fond, notamment photochimique.

#### Influence des sources

- Influence industrielle : Le point de prélèvement est situé à proximité d'une source (ou d'une zone) industrielle. Les émissions de cette source ont une influence significative sur les

concentrations.

- Influence trafic : Le point de prélèvement est situé à proximité d'un axe routier majeur. Les émissions du trafic ont une influence significative sur les concentrations.

Influence de fond : Le point de prélèvement n'est soumis à aucun des deux types d'influence décrits ci-après. L'implantation est telle que les niveaux de pollution sont représentatifs de l'exposition moyenne de la population (ou de la végétation et des écosystèmes) en général au sein de la zone surveillée. Généralement, la station est représentative d'une vaste zone d'au moins plusieurs km<sup>2</sup>.

## ANNEXE 1 – SOURCES DE POLLUTION, EFFETS SUR LA SANTE, REGLEMENTATION ET RECOMMANDATIONS OMS

### Sources de pollution

Les polluants atmosphériques ont diverses origines.

| Polluants                                   | Sources principales  |
|---|--|
| <b>Particules en suspension (PM)</b>        | Les particules proviennent en majorité de la combustion à des fins énergétiques de différents matériaux (bois, charbon, pétrole), du transport routier (imbrûlés à l'échappement, usure des pièces mécaniques par frottement, des pneumatiques...), d'activités industrielles très diverses (sidérurgie, incinération, chaufferie) et du brûlage de la biomasse (incendie, déchets verts). |
| <b>NO<sub>x</sub><br/>Oxydes d'azote</b>    | Les sources principales sont les véhicules et les installations de combustion.   |
| <b>SO<sub>2</sub><br/>Dioxyde de soufre</b> | Le dioxyde de soufre (SO <sub>2</sub> ) est un polluant essentiellement industriel. Les sources principales sont les centrales thermiques, les grosses installations de combustion industrielles, le trafic maritime, l'automobile et les unités de chauffage individuel et collectif.   |

### Effets sur la santé

Les polluants atmosphériques ont un impact sur la santé variable en fonction de leur concentration dans l'air, de la dose inhalée et de la sensibilité des individus. Ils peuvent aussi avoir des incidences sur l'environnement.

| Polluants                                   | Effets sur la santé   | Effets sur l'environnement  |
|---|---|---|
| <b>Particules en suspension</b>             | Irritation des voies respiratoires<br>Dans certains cas, altération des fonctions pulmonaires | Effets de salissures sur les bâtiments<br>Altération de la photosynthèse  |
| <b>NO<sub>x</sub><br/>Oxydes d'azote</b>    |   | Pluies acides<br>Précurseur de la formation d'ozone<br>Effet de serre<br>Déséquilibre les sols sur le plan nutritif |
| <b>SO<sub>2</sub><br/>Dioxyde de soufre</b> |   | Pluies acides<br>Dégradation de certains matériaux<br>Dégradation des sols  |

## Réglementation

En matière de surveillance de la qualité de l'air, la réglementation se base essentiellement sur :  
La directive 2008/50/CE concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe,  
L'article R221-1 du Code de l'Environnement.

Les valeurs réglementaires sont exprimées en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . L'expression du volume doit être ramenée aux conditions de température et de pression suivantes : 293 K et 1013 hPa. La période annuelle de référence est l'année civile. Un seuil est considéré dépassé lorsque la concentration observée est strictement supérieure à la valeur du seuil.

| Polluants                            | Type de réglementation               | Valeurs réglementaires ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | Durée d'exposition       |
|--------------------------------------|--------------------------------------|---|--------------------------|
| PM2.5<br>Particules                  | Valeur limite                        | 25  | Année                    |
|                                      | Valeurs cibles                       | 20  | Année                    |
|                                      | Objectif de qualité                  | 10  | Année                    |
| NO <sub>2</sub><br>Dioxyde d'azote   | Seuil d'information- recommandations | 200   | Heure                    |
|                                      | Seuil d'alerte                       | 400   | Heure                    |
|                                      | Valeurs limites                      | 200   | Heure (maximum 18h / an) |
|                                      |                                      | 40  | Année                    |
| SO <sub>2</sub><br>Dioxyde de soufre | Seuil d'information- recommandations | 300   | Heure                    |
|                                      | Seuil d'alerte                       | 500   | Heure (pendant 3h)       |
|                                      | Valeurs limites                      | 350   | Heure (maximum 24h / an) |
|                                      |                                      | 125   | Jour (maximum 3 j / an)  |
|                                      | Objectif de qualité                  | 50  | Année                    |

## Recommandations de l'Organisation Mondiale pour la Santé (OMS)

Les valeurs recommandées par l'OMS (2005) sont fondées sur des études épidémiologiques et toxicologiques publiées en Europe et en Amérique du Nord. Elles ont pour principal objectif d'être des références pour l'élaboration des réglementations internationales.

Il s'agit de niveaux d'exposition (concentration d'un polluant dans l'air ambiant pendant une durée déterminée) auxquels ou en dessous desquels il n'y a pas d'effet sur la santé. Ceci ne signifie pas qu'il y ait un effet dès que les niveaux sont dépassés mais que la probabilité qu'un effet apparaisse est augmentée.

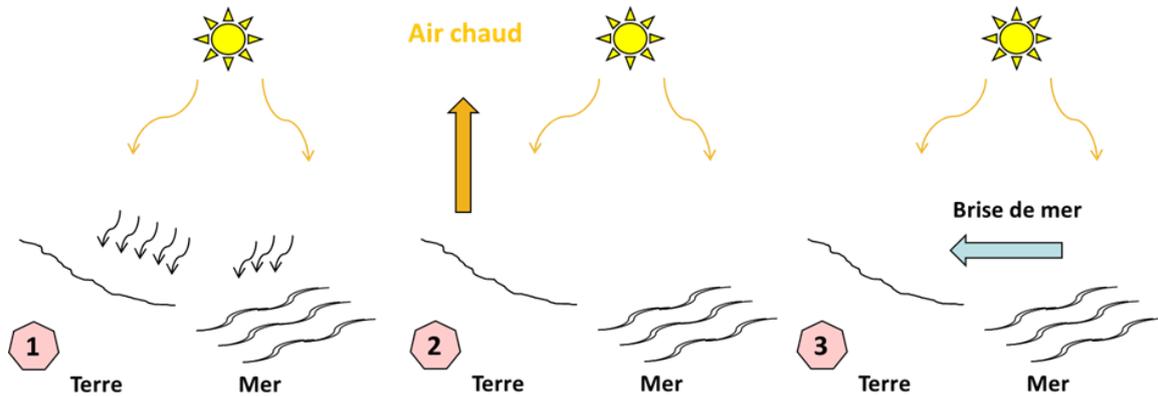
| Polluants                            | Effets considérés sur la santé  | Valeur ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) recommandée par l'OMS | Durée moyenne d'exposition |
|--------------------------------------|---|---|----------------------------|
| PM2.5<br>Particules                  | Affection des systèmes respiratoire et cardiovasculaire   | 25<br>10  | 24 heures<br>1 an          |
| NO <sub>2</sub><br>Dioxyde d'azote   | Faible altération de la fonction pulmonaire (asthmatiques)  | 200<br>40   | 1 heure<br>1 an            |
| SO <sub>2</sub><br>Dioxyde de soufre | Altération de la fonction pulmonaire (asthmatiques)<br>Exacerbation des voies respiratoires (individus sensibles) | 500<br>20   | 10 minutes<br>24 heures    |

## ANNEXE 2 – ELEMENTS METEOROLOGIQUES

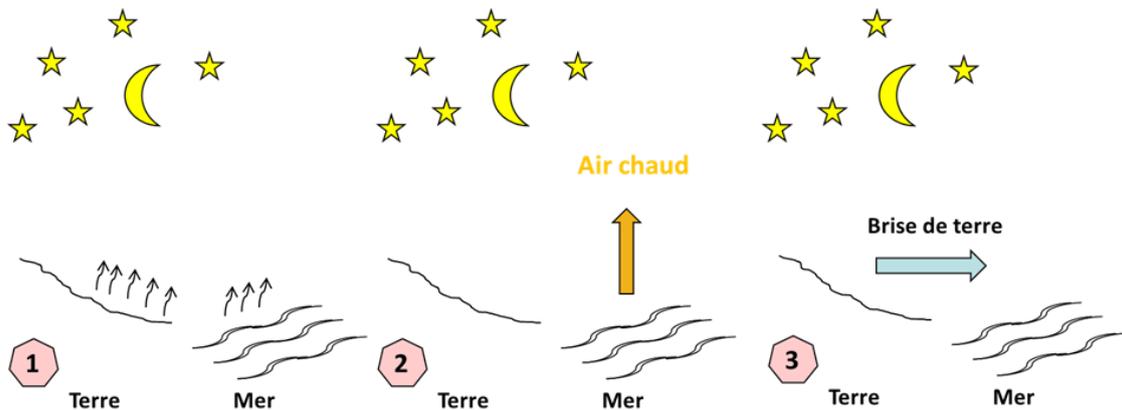
### ► Brises thermiques

Les caractéristiques des brises alternées dépendent de la différence de température entre la terre et l'eau, de la force et de la direction du vent, de la rugosité et de la pente du terrain, de la rugosité et de l'eau, de la courbure de la côte et de l'humidité au-dessus de la terre.

**Brise de mer** : La journée, la terre se réchauffe plus vite que la mer (1). La masse d'air au-dessus de la terre étant plus chaude, elle s'élève générant ainsi un courant ascendant (2). Cet air est alors remplacé par de l'air plus froid provenant de la mer (3).



**Brise de terre** : La nuit, c'est l'inverse : la terre se refroidit plus vite que la mer (1), la masse d'air chaude est au-dessus de la mer et s'élève (2), laissant place à un air plus froid venant de la terre (3).



## ANNEXE 3 – METHODOLOGIE DE CALCUL DES EMISSIONS

### ► Optimisation des données

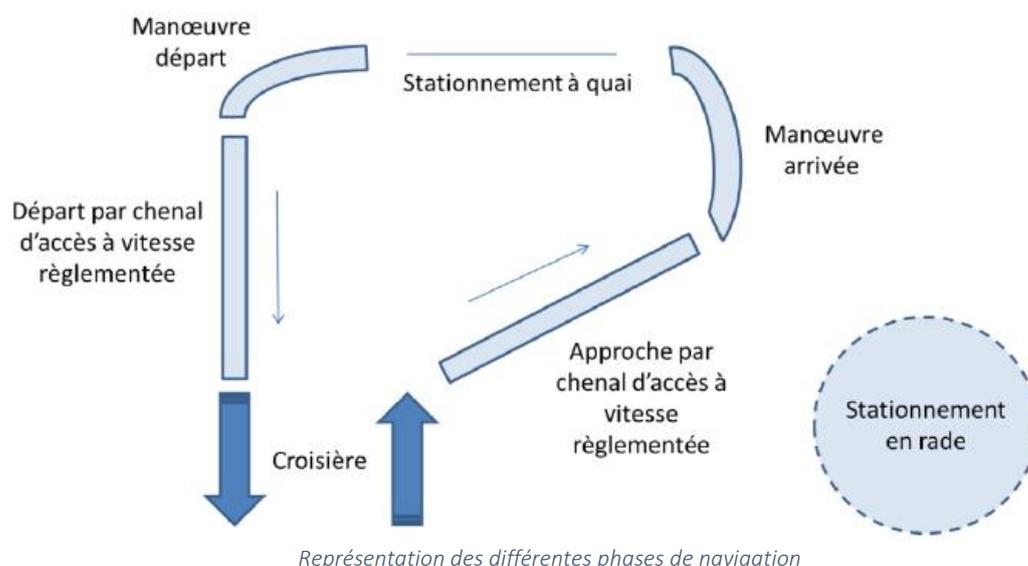
Après la réception des données brutes, une étape de mise en forme a été effectuée afin de faciliter leur exploitation. Ces données sont ensuite insérées dans la base de données de l'inventaire des émissions de polluants du secteur maritime afin de procéder au calcul.

Le calcul des émissions issues du secteur maritime prend généralement en considération tous les types de navires qui sont classés en 12 catégories (tanker, vraquier solide, porte conteneur, cargo, ferry, paquebot, pêche, remorqueur, travaux et maintenance, barge, plaisance, autres). Concernant l'année 2022, et dans le cadre de cette étude, seule la catégorie « Paquebot » a été recensée dans la base de données d'AtmoSud grâce à leur immatriculation. Une vérification supplémentaire a été effectuée via MarineTraffic<sup>5</sup> et toutes les escales de croisière qui ont été programmées en rade de Cannes ont été prise en compte.

### ► Méthodologie de calcul

La méthodologie appliquée pour le calcul des émissions du secteur maritime est celle recommandée par le guide méthodologique pour l'élaboration des inventaires du LCSQA (guide PCIT2<sup>6</sup>). Il a été pris en compte la méthode de calcul par escale dont les données nécessaires sont : les horaires de départ et d'arrivée du navire ainsi que la catégorie du navire.

Les émissions de polluant sont estimées suivant les différentes phases de mouvement des navires faisant escale sur le port de Cannes. La liste des différentes phases est représentée à la **figure ci-dessous**.



Les émissions sont découpées selon les phases suivantes :

- Emissions en phase de croisière ;
- Emissions en phase d'approche (ou de manœuvre) ;
- Emissions à quai en rade.

Les données recueillies pour chaque escale comprennent une durée de temps et une estimation du temps de manœuvre permettant de calculer la consommation de chaque navire en fonction de son type et de sa puissance-moteur. La base de données d'AtmoSud fournit également des informations sur le

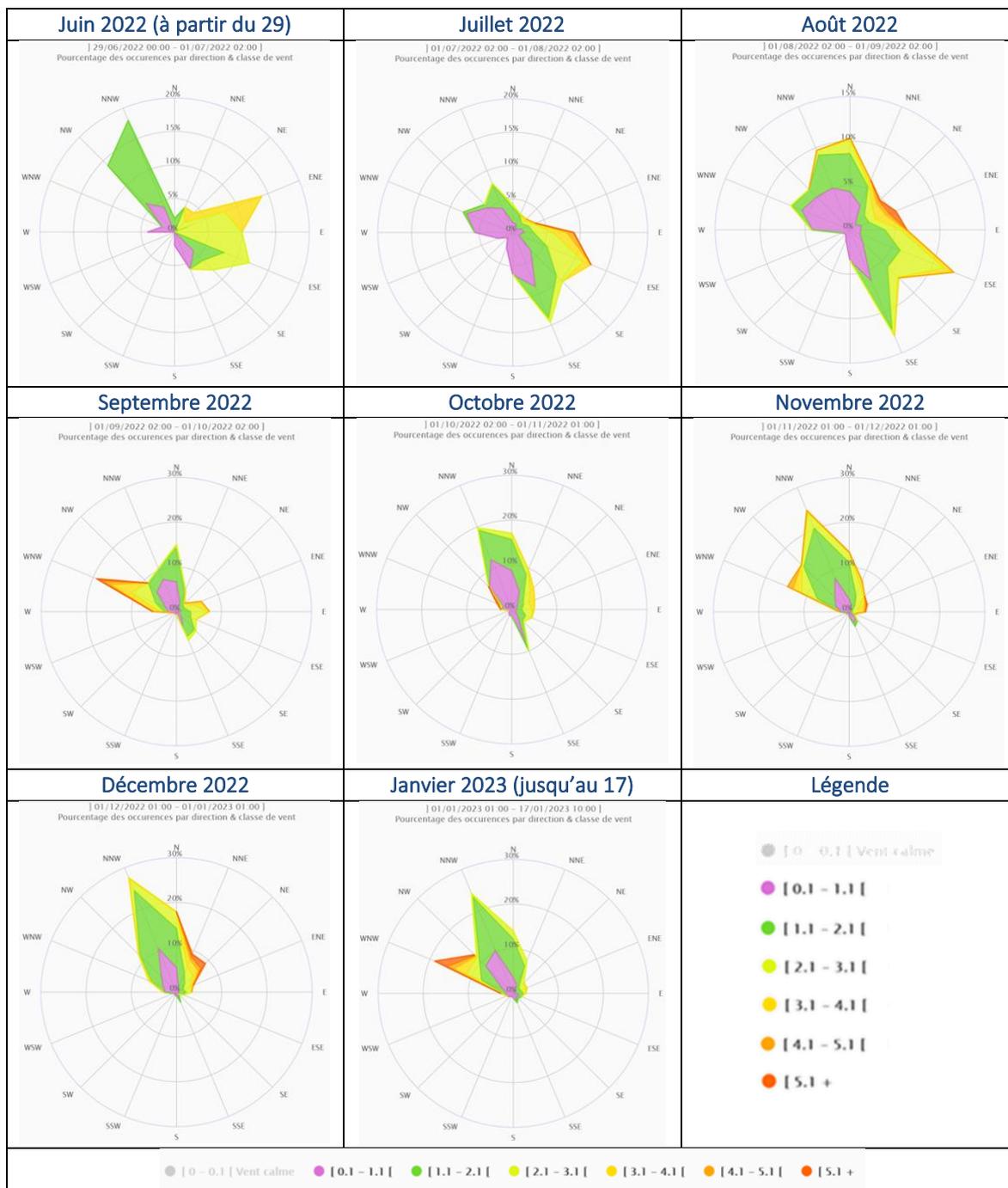
<sup>5</sup> MarineTraffic permet de suivre en temps réel le trafic maritime mondial

<sup>6</sup> Ce guide fait partie du référentiel technique national, conformément à l'arrêté du 16 avril 2021 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant.

type de combustible utilisé par chaque navire immatriculé. En effet, la combustion de carburant indispensable à la propulsion des navires et l'alimentation des équipements embarqués constitue la principale source d'émissions du secteur maritime. Ainsi, avec la consommation et le facteur d'émission approprié, il est possible d'estimer les émissions du secteur maritime.

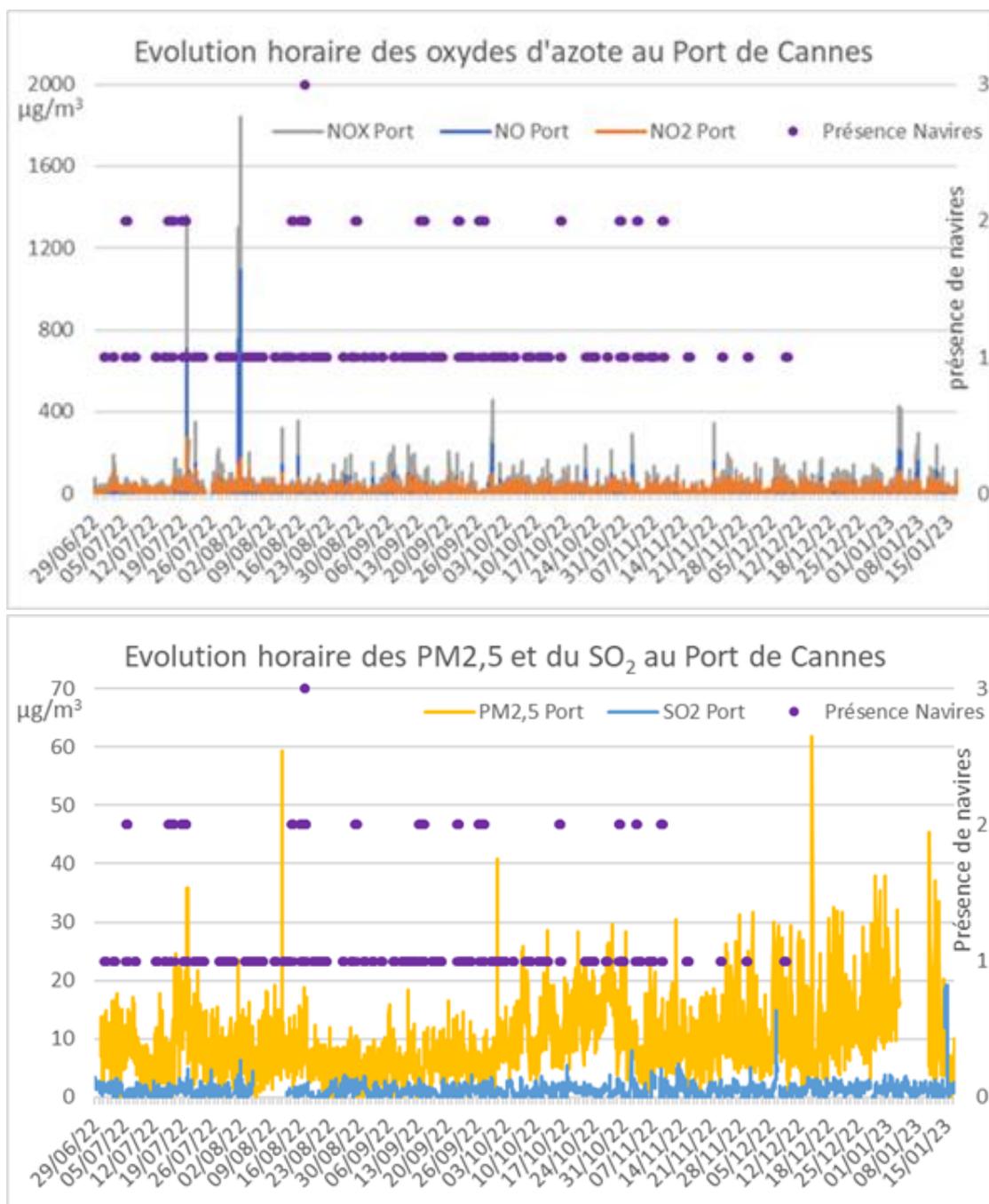
Grâce aux partages des données, notamment l'immatriculation des navires, il est possible d'attribuer les bonnes caractéristiques des navires telles que la jauge brute et les puissances des navires afin de garantir une estimation plus fiable des émissions du secteur maritime.

## ANNEXE 4 – ROSES DES VENTS MENSUELLES



## ANNEXE 5 – EVOLUTIONS HORAIRES ET PRESENCE DE NAVIRES EN BAIE DE CANNES

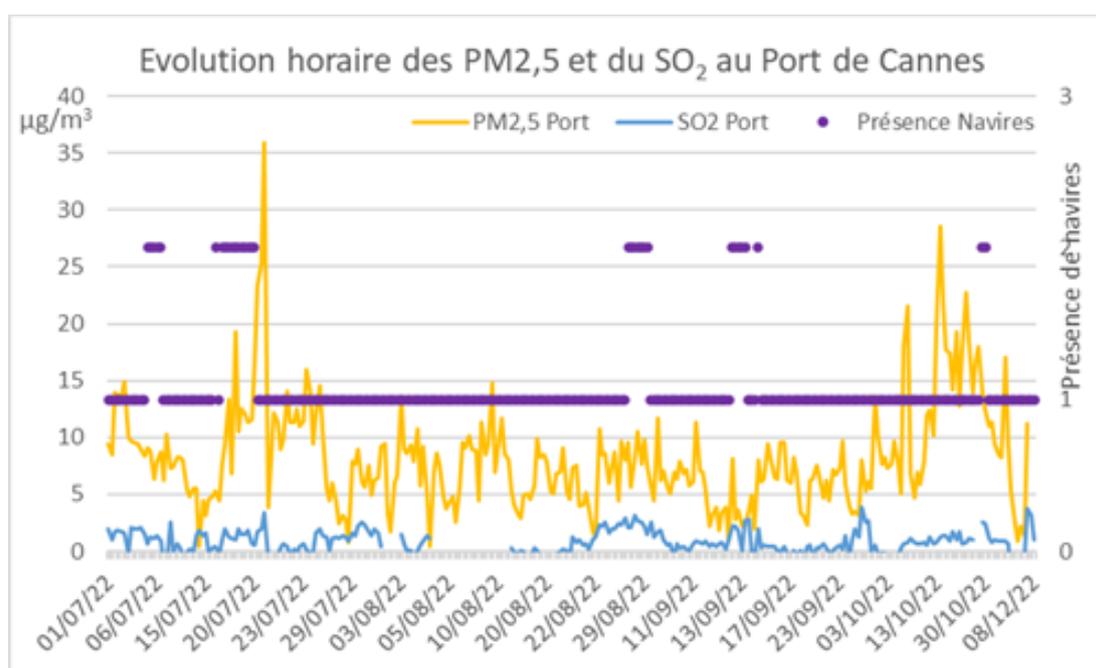
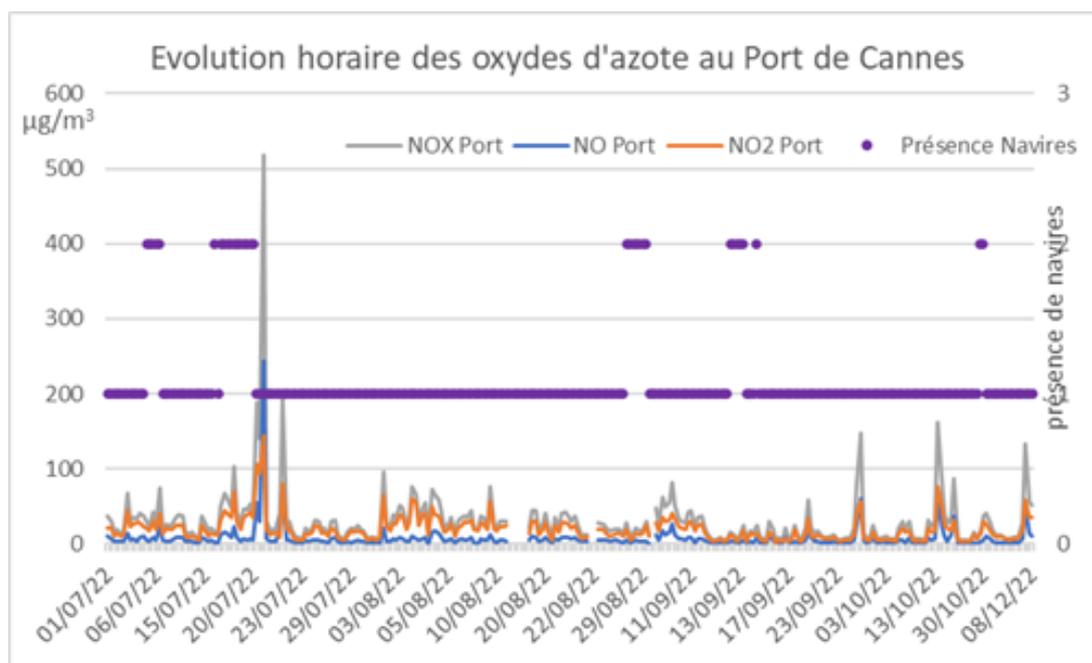
- Comparaison des évolutions horaires des polluants et de la présence de navires (informations fournies par Igy Marinas)



► Comparaison des évolutions horaires des polluants par vent de SE/SSE uniquement en présence de navires

Dans ces conditions de vent, les polluants émis par les navires peuvent être enregistrés sur la cabine AtmoSud au port et ainsi impacter une partie du centre urbain (soit 13 % du temps sur la période de mesures).

En ne gardant que les périodes où la présence d'un navire en baie de Cannes est attestée par les données d'IGY Marinas (environ 3 % des données), les concentrations élevées sont nettement moins fréquentes. Cependant plusieurs pics se distinguent autour du 20 juillet 2022 et pendant quelques jours en octobre. Ces journées font l'objet d'une investigation détaillée à une échelle quart-horaire.

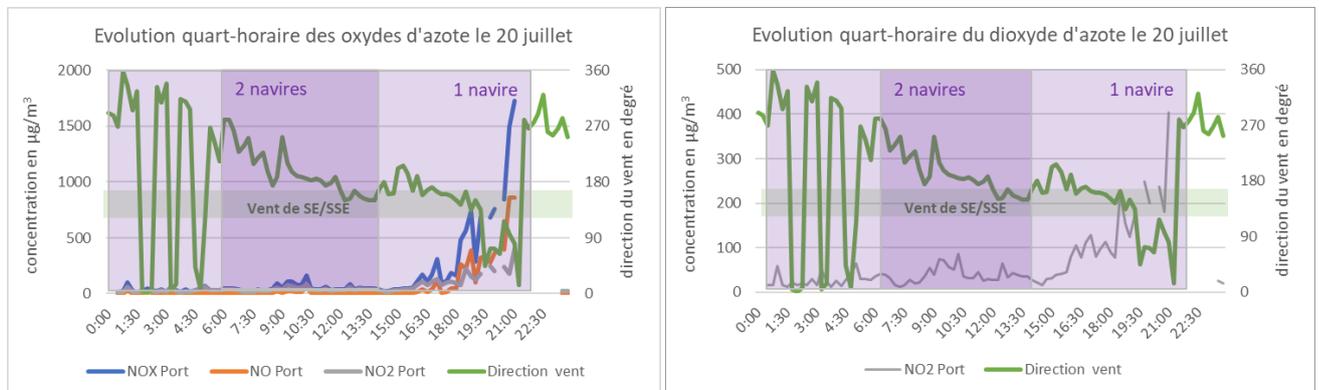


## ANNEXE 6 – JOURNEES PARTICULIERES

L'analyse horaire est insuffisante pour le traitement des teneurs les plus fortes enregistrées lorsque des navires étaient présents en baie de Cannes. Une approche à l'échelle quart-horaire permet de mieux contraindre la dynamique des polluants en se rapprochant de la cinétique des processus d'émission/dispersion de panache.

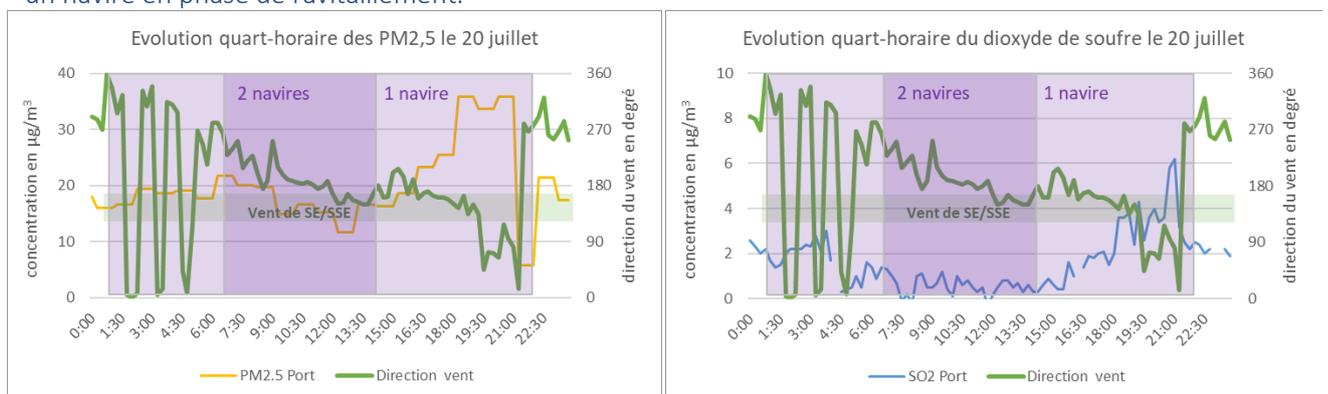
### ► Journée du 20 juillet 2022 : une journée avec le pic maximal en dioxyde d'azote

L'évolution journalière des oxydes d'azote le 20 juillet (ci-dessous) révèle une augmentation significative des niveaux à partir de 18h15, avec des vents, de faible intensité de secteur Sud-Est/Sud-Sud-Est, Cette augmentation se prolonge jusqu'en fin de journée. Cependant entre 19h30 et 21h30, le vent tourne Est-Nord-Est avant de reprendre un régime de brises d'Ouest. Ainsi lorsque les maxima en oxydes d'azote (et dioxyde d'azote) sont atteints à 21h, la direction du vent (Est) ne désigne pas le navire de croisière, encore présent en baie de Cannes, comme origine. D'ailleurs, les niveaux élevés de monoxyde d'azote confirment une source proche, possiblement un navire au ravitaillement<sup>7</sup>.



Evolution quart-horaire des oxydes d'azote le 20 juillet

Les autres polluants présentent des comportements similaires (ci-dessous) avec une hausse en fin de journée et des maxima à 21h. La présence de dioxyde de soufre confirme certes une origine maritime mais la source effective n'est pas celle des navires en escale dans la baie. Les teneurs en monoxyde d'azote laissent plutôt supposer que la source est située sur le quai du Large et donc très probablement un navire en phase de ravitaillement.

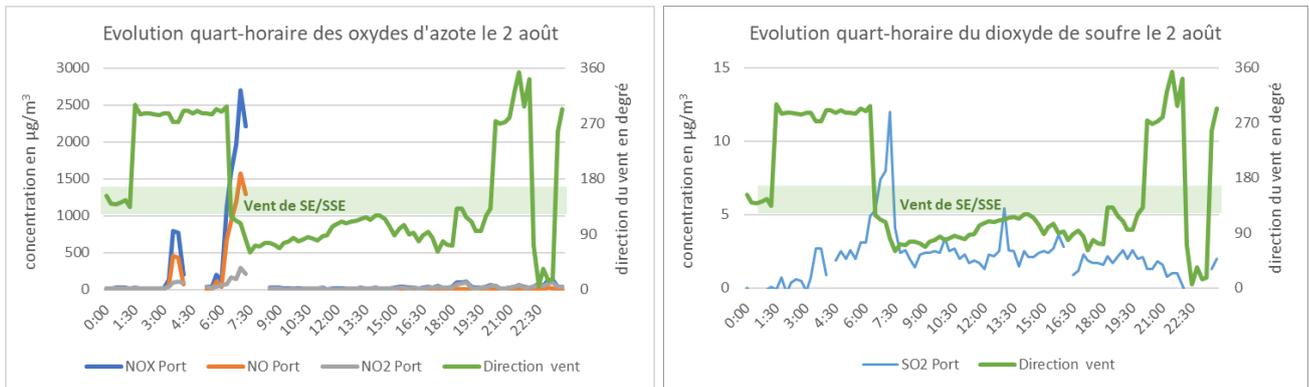


Evolution quart-horaire des PM2,5 et du dioxyde de soufre le 20 juillet

<sup>7</sup> A proximité de la source, tout le monoxyde d'azote émis n'a pas le temps de s'oxyder et de se transformer en dioxyde d'azote

► **Journée du 2 août 2022 : une journée avec le pic maximal en monoxyde et oxydes d'azote**

Le 2 août, aucun navire de croisière n'est présent en baie de Cannes. Néanmoins, les concentrations en oxydes d'azote augmentent fortement entre 6h15 et 7h15 avec des maximas enregistrés à 7h. Comme pour le 20 juillet, les niveaux élevés de monoxyde d'azote concluent à la proximité de la source et la présence d'un pic de dioxyde de soufre à 7h15 témoigne de son origine maritime. Ainsi la pollution observée est probablement issue d'un navire en phase de ravitaillement à l'Est de la baie probablement. Les fortes valeurs sont ainsi par faible vent d'Est-Sud-Est, au moment de la bascule de vent, lorsque les vitesses sont minimales et que la dispersion est très faible.

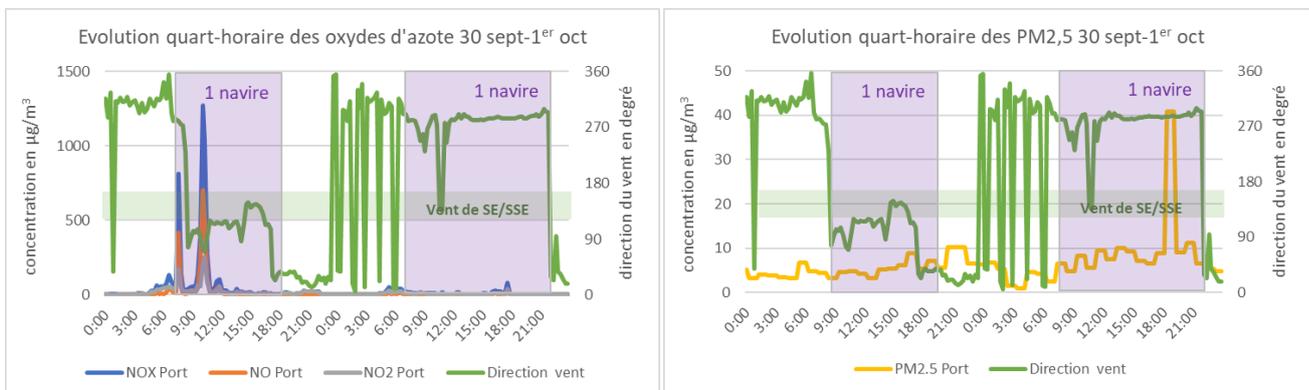


Evolution quart-horaire des oxydes d'azote et du dioxyde de soufre le 2 août

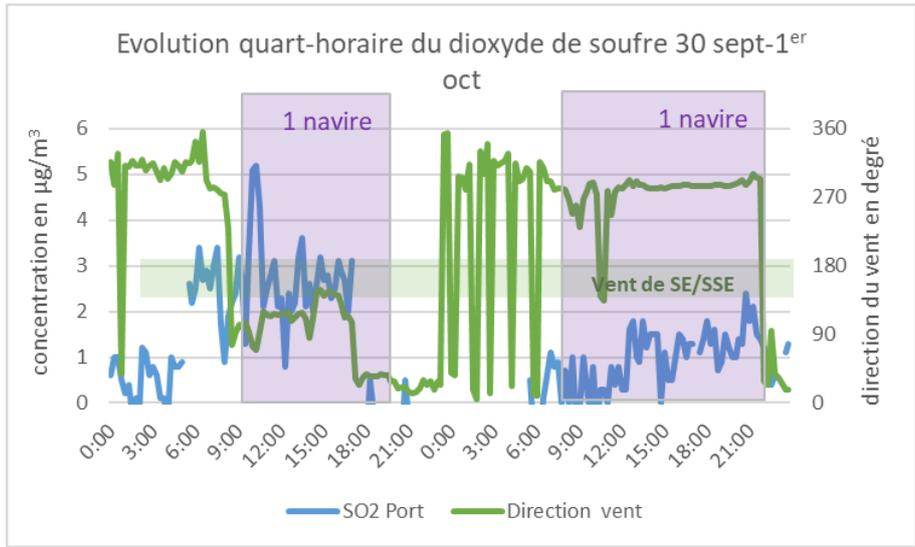
► **Journées du 30 septembre/1<sup>er</sup> octobre 2022 : deux journées avec de fortes teneurs en oxydes d'azote et PM<sub>2,5</sub>**

Le pic d'oxydes d'azote mesuré le 30 septembre est parmi les concentrations plus élevées observées durant la campagne. Il est associé à une légère hausse des niveaux en dioxyde de soufre (**ci-dessous**) mais pas en particules. Lors de cet épisode, les vents de faible intensité, proviennent de l'Est-Nord-Est, situant la source dans le port mais pas au niveau du point de mouillage au large de la baie.

Le 1<sup>er</sup> octobre, c'est une élévation du taux de particules PM<sub>2,5</sub> qui retient l'attention. Cette augmentation se produit de 18h à 19h par vent d'Ouest-Nord-Ouest, établi depuis 12h. L'origine maritime de ce pic ne peut lui être attribuée au vu des faibles concentrations des autres polluants (NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>). De plus, les vitesses du vent mesurées laissent davantage supposer une importante remise en suspension de particules fines.



Evolution quart-horaire des oxydes d'azote et des PM<sub>2,5</sub> du 30 septembre au 1<sup>er</sup> octobre



Evolution quart-horaire du dioxyde de soufre du 30 septembre au 1<sup>er</sup> octobre

## ANNEXE 7 – METHODOLOGIE DE MODELISATION DES PANACHES

L'impact des émissions des navires sur la qualité de l'air dans les zones urbaines littorales est majoritairement lié :

- à la direction et la vitesse du vent : certains secteurs de vent vont disperser le vent vers la ville ou au large. De plus, la vitesse du vent permettra de disperser plus ou moins rapidement et efficacement les polluants.
- aux caractéristiques du navire : hauteur de cheminée, tonnage brut, combustible utilisé...
- à la position du navire et temps de résidence ;
- à l'utilisation des moteurs pendant l'escale.

Pour évaluer ces impacts, des simulations de certaines journées caractéristiques ont été réalisées avec le modèle PMSS (voir description en **Annexe 8**) à fine échelle à une résolution de 10 mètres sur Cannes et sa baie.

Ce modèle permet notamment de générer des champs de vent à haute résolution qui prennent en compte le bâti ainsi que la topographie du lieu afin de reproduire au mieux les turbulences et dynamiques ayant lieu en ville.



Domaine d'application du modèle PMSS (en orange)

Les **hypothèses retenues** pour simuler la dispersion du panache du navire sont les suivantes :

- la hauteur de cheminée est variable en fonction des informations à disposition sur les navires (entre 32 et 52 mètres suivant les navires) ;
- la température d'éjection des émissions est de 380K (environ 105°C) et éjectées à une vitesse de 1,9m/s<sup>8</sup> ;

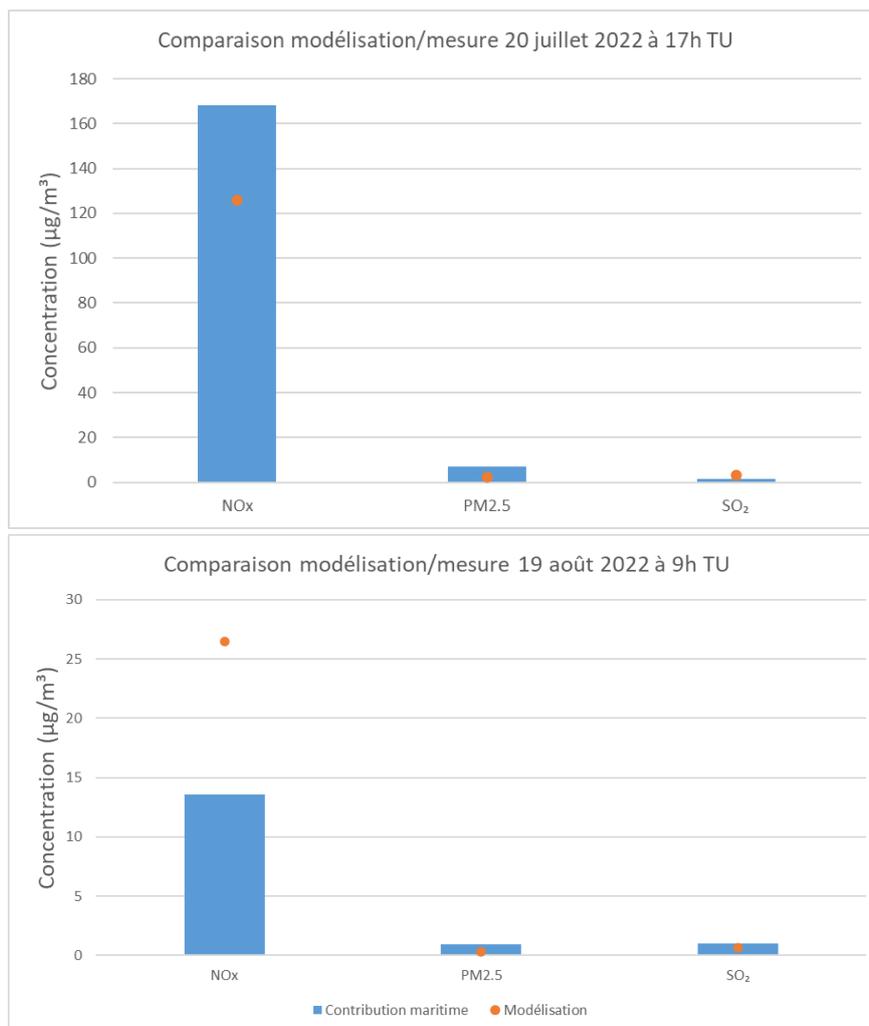
<sup>8</sup> Ces hypothèses sont tirées des travaux du projet européen SCIPPER – D4.4 Shipping emissions contribution to port and neighbouring urban area

- les émissions associées aux escales de navire sont considérées comme constantes pendant toute la durée du séjour dans la baie ;
- les conditions météorologiques pour réaliser la dispersion du panache sur l'ensemble du domaine sont celle mesurées par la station d'AtmoSud située sur le Port;
- le point de mouillage des navires simulés se trouve à environ 1500 mètres du rivage.

Seules les émissions des navires de croisière (calculées dans le §III.4) sont dispersées par le modèle pour obtenir la contribution de ces derniers. Néanmoins, la présence de bateaux de plaisance dans le port dégrade également la qualité de l'air mais cet impact n'est pas pris en compte dans le cadre de cette modélisation.

Une étape importante de validation des résultats du modèle a été réalisée sur deux journées où un panache de navire est suspecté d'avoir été mesuré au Port de Cannes (le 20 juillet 2022 entre 16h et 17h et le 19 août 2022 entre 8h et 9h). Le modèle pour ces deux journées prévoit un pic de concentration au point de la station de mesure (figure ci-dessous), en lien avec des conditions de vent favorables à son passage sur la cabine.

Pour comparer les concentrations modélisées avec de la donnée mesurée, nous avons estimé une contribution du maritime en faisant la différence entre les concentrations mesurées à la station du Port de Cannes et les concentrations représentatives du fond, à la station de mesure de Cannes Broussailles.



Comparaison entre les concentrations horaires de la contribution maritime calculée à la station du Port de Cannes en bleu et les modélisations horaires obtenues par le modèle PMSS au point de la station en orange pour les NOx, PM2.5 et SO<sub>2</sub> (en haut, le 20 juillet à 17h et en bas, le 19 août à 9h)

On observe que le modèle sous-estime les PM2.5 supposées être liées à l'activité maritime. Pour les autres polluants, l'estimation du modèle est du bon ordre de grandeur mais l'erreur relative reste importante. Cet aspect peut être expliqué par l'estimation de la contribution maritime imprécise. De plus, la proximité des deux sites (stations de mesure et stations de ravitaillement regroupant des navires) rend la validation du modèle difficile.

Un élément des études menés dans d'autres ports par AtmoSud et le Laboratoire de Chimie Environnement peut permettre de valider l'ordre de grandeur fourni par le modèle. En effet, lors de campagnes de mesure<sup>9</sup> pour caractériser l'impact des émissions maritimes, les concentrations observées à l'intérieur des panaches pouvaient aller au-delà de 1 000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en instantanée de NOx.

En conclusion, le modèle de dispersion reproduit bien la dynamique des panaches observées en cabine ainsi que l'ordre de grandeur observé en concentration horaire.

---

<sup>9</sup> Projets AER NOSTRUM et SCIPPER, respectivement à Toulon et Marseille

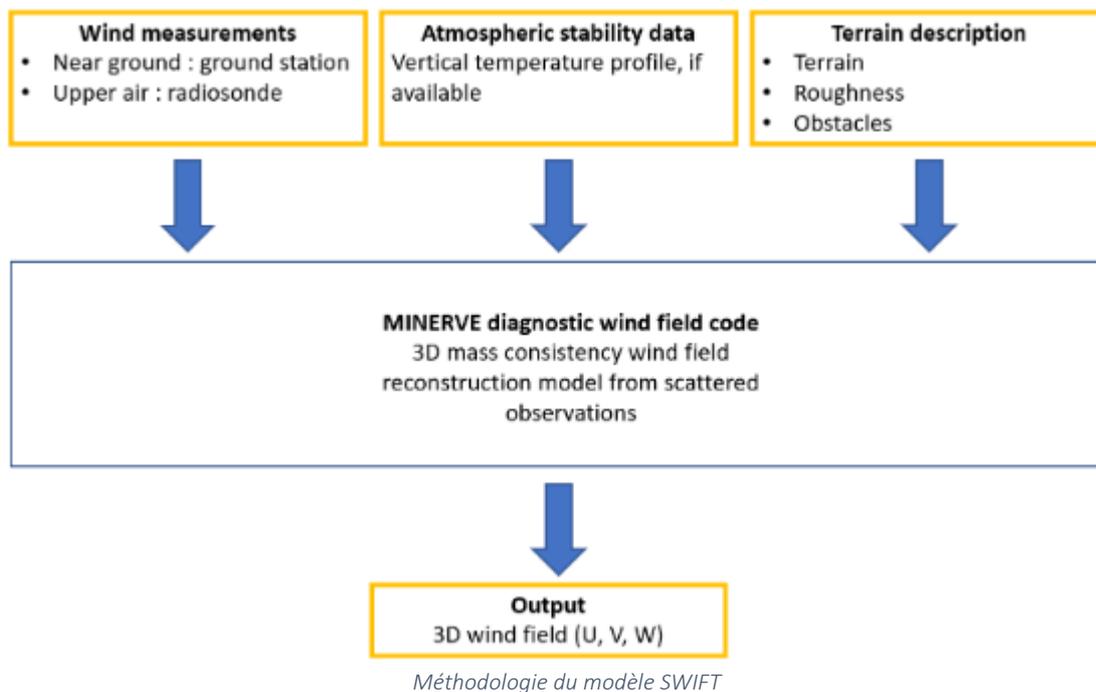
## ANNEXE 8 – MODELE DE DISPERSION ATMOSPHERIQUE PMSS

Le modèle 3D Parallel Micro Swift Spray (PMSS) permet de simuler la dispersion des polluants à très haute résolution en tenant compte des modifications d'écoulement dû à la présence d'obstacle. Il est une combinaison de deux modèles PSWIFT et PSPRAY développés et distribués par ARIA Technologies. Il a été développé pour les petites échelles et les terrains complexes, tels que les environnements urbains ou industriels. PSWIFT est un modèle de champ de vent 3D qui produit un champ de vent utilisant des données provenant d'une station météorologique. PSPRAY est un modèle de dispersion lagrangienne de particules en 3D parallélisé qui simule l'advection et la diffusion d'espèces gazeuses dans l'atmosphère. Il produit des concentrations en 3D ainsi que des champs de dépôts secs et humides. Ces modèles sont utilisés dans le cas d'accidents industriels ou pour étudier l'impact de nouvelles infrastructures urbaines.

### SWIFT : modèle d'interpolation de champ de vent 3D

Un champ de vent est construit à partir de l'interpolation des mesures de vent en prenant en compte les obstacles éventuels ainsi que :

- La conservation de la masse pour un fluide incompressible (la densité  $\rho$  de l'air est supposée constante).
- La proximité du champ de vent initial interpolé.
- Les conditions d'imperméabilité à travers le sol et le sommet de l'atmosphère.



La reconstruction des champs de vent avec SWIFT nécessite deux types de données :

- les données topographiques du site, les données sur la rugosité et l'albédo et, éventuellement, les données sur les obstacles tels que les bâtiments
- des données météorologiques, notamment des données sur le vent et, si possible, sur la température et l'humidité relative au niveau du sol. L'emplacement des sites de mesure ou les profils verticaux en un seul point doivent être fournis afin d'interpoler correctement les données.

Dans cette étude, nous utilisons des données topographiques avec une résolution de 25m sur Cannes.



*Données de bâti sur la ville de Cannes*

### **SPRAY : un modèle lagrangien 3D de dispersion de polluant**

Dans PSPRAY, la dispersion d'un polluant est modélisée par des particules "virtuelles" appelées particules lagrangiennes, où la particule représente une quantité fixe de masse de polluant. Elles suivent le mouvement turbulent de l'air comme des traceurs passifs et leur distribution spatiale à un certain moment représente la concentration d'une substance émise.

Ici, nous utilisons SPRAY à une résolution de 10 mètres.

## AtmoSud, votre expert de l'air en région Sud Provence-Alpes-Côte d'Azur



### Un large champ d'intervention : air/climat/énergie/santé

La loi sur l'air reconnaît le droit à chaque citoyen de respirer un air qui ne nuise pas à sa santé. Dans ce cadre, AtmoSud évalue l'exposition des populations à la pollution atmosphérique et identifie les zones où il faut agir. Pour s'adapter aux nouveaux enjeux et à la demande des acteurs, son champ d'intervention s'étend à l'ensemble des thématiques de l'atmosphère : polluants, gaz à effet de serre, nuisances, pesticides, pollens... Par ses moyens techniques et d'expertise, AtmoSud est au service des décideurs et des citoyens.

### Des missions d'intérêt général

La loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie du 30/12/1996 confie la surveillance de la qualité de l'air à des associations agréées :

- Connaître l'exposition de la population aux polluants atmosphériques et contribuer aux connaissances sur le changement climatique
- Sensibiliser la population à la qualité de l'air et aux comportements qui permettent de la préserver
- Accompagner les acteurs des territoires pour améliorer la qualité de l'air dans une approche intégrée air/climat/énergie/santé
- Prévoir la qualité de l'air au quotidien et sur le long terme
- Prévenir la population des épisodes de pollution
- Contribuer à l'amélioration des connaissances\*

### Recevez nos bulletins

Abonnez-vous à l'actualité de la qualité de l'air : <https://www.atmosud.org/abonnements>

### Conditions de diffusion

AtmoSud met à disposition les informations issues de ses différentes études et garantit la transparence de l'information sur le résultat de ces travaux. A ce titre, les rapports d'études sont librement accessibles sur notre site Internet.

Les données contenues dans ce document restent la propriété intellectuelle d'AtmoSud. Toute utilisation de données ou de documents (texte, tableau, graphe, carte...) doit obligatoirement faire référence à AtmoSud. Ce dernier n'est en aucun cas responsable des interprétations et publications diverses issues de ces travaux et pour lesquels aucun accord préalable n'aurait été donné.



[www.atmosud.org](http://www.atmosud.org)

**AtmoSud**  
Inspirer un air meilleur

#### A propos d'AtmoSud

##### Siège social

146 rue Paradis « Le Noilly Paradis »  
13294 Marseille Cedex  
Tel. 04 91 32 38 00  
Fax 04 91 32 38 29  
[Contact.air@atmosud.org](mailto:Contact.air@atmosud.org)

##### Etablissement de Martigues

06 Route de la Vierge  
13500 Martigues  
Tel. 04 42 13 01 20  
Fax 04 42 13 01 29

##### Etablissement de Nice

37 bis avenue Henri Matisse  
06200 Nice  
Tel. 04 93 18 88 00

SIRET : 324 465 632 00044 – APE – NAF : 7120B – TVA intracommunautaire : FR 65 324 465 632