

Surveillance de la qualité de l'air

Étude de l'impact du port de Bordeaux sur les concentrations en polluants atmosphériques

Période de mesure : avril - mai 2018

Commune et département d'étude : Bordeaux, Gironde (33)

Référence : URB_EXT_17_319

Version finale du : 18/09/2018

Auteur(s) : Florie CHEVRIER
Contact Atmo Nouvelle-Aquitaine :
E-mail : contact@atmo-na.org
Tél. : 09 84 200 100

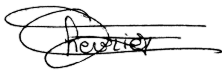
www.atmo-nouvelleaquitaine.org

Titre : Étude d'impact du port de Bordeaux

Reference : URB_EXT_17_319

Version : finale du 18/09/2018

Nombre de pages : 44 (couverture comprise)

	Rédaction		Vérification		Approbation
Nom	Florie Chevrier	Audrey Chataing	Agnès Hulin	Rafaël Bunales	Rémi Feuillade
Qualité	Ingénieure d'études	Ingénieure d'études	Responsable du service Études, Modélisation et Amélioration des connaissances	Responsable du service Inventaire, Statistiques, Odeurs	Directeur Délégué Production Exploitation
Visa					

Conditions d'utilisation

Atmo Nouvelle-Aquitaine fait partie du dispositif français de surveillance et d'information sur la qualité de l'air. Sa mission s'exerce dans le cadre de la loi sur l'air du 30 décembre 1996 et de ses décrets d'application.

A ce titre et compte tenu de ses statuts, Atmo Nouvelle-Aquitaine est garant de la transparence de l'information sur les résultats de ces travaux selon les règles suivantes :

- Atmo Nouvelle-Aquitaine est libre de leur diffusion selon les modalités de son choix : document papier, communiqué, résumé dans ses publications, mise en ligne sur son site internet (www.atmo-nouvelleaquitaine.org)
- les données contenues dans ce rapport restent la propriété d'Atmo Nouvelle-Aquitaine. En cas de modification de ce rapport, seul le client sera informé d'une nouvelle version. Tout autre destinataire de ce rapport devra s'assurer de la version à jour sur le site Internet de l'association.
- en cas d'évolution de normes utilisées pour la mesure des paramètres entrant dans le champ d'accréditation d'Atmo Nouvelle-Aquitaine, nous nous engageons à être conforme à ces normes dans un délai de 6 mois à partir de leur date de parution
- toute utilisation totale ou partielle de ce document doit faire référence à Atmo Nouvelle-Aquitaine et au titre complet du rapport.

Atmo Nouvelle-Aquitaine ne peut en aucune façon être tenu responsable des interprétations, travaux intellectuels, publications diverses résultant de ses travaux pour lesquels l'association n'aura pas donnée d'accord préalable. Dans ce rapport, les incertitudes de mesures ne sont pas utilisées pour la validation des résultats des mesures obtenues.

En cas de remarques sur les informations ou leurs conditions d'utilisation, prenez contact avec Atmo Nouvelle-Aquitaine :

- depuis le [formulaire de contact](#) de notre site Web
- par mail : contact@atmo-na.org
- par téléphone : 09 84 200 100

Sommaire

1. Contexte et objectifs	5
1.1. Réglementation	5
1.2. Bordeaux	5
2. Inventaire des émissions	8
2.1. Méthodologie du secteur maritime	8
2.2. Bilan des émissions maritimes du GPMB	9
2.3. Bilan des émissions de Bordeaux	9
2.3.1. Les oxydes d'azote (NO _x)	9
2.3.2. Le dioxyde de soufre (SO ₂)	10
2.3.3. Les particules en suspension (PM ₁₀)	11
3. Mise en œuvre des mesures	13
3.1. Sites de prélèvement	13
3.2. Moyens mis en œuvre	14
3.2.1. Les particules en suspension (PM ₁₀)	15
3.2.2. Les oxydes d'azote (NO _x)	16
3.2.3. Le dioxyde de soufre (SO ₂)	17
3.3. Bilan de la phase de mesure	18
4. Conditions météorologiques	20
5. Résultats	21
5.1. Mesures automatiques	21
5.1.1. Le SO ₂	22
5.1.2. Les NO _x	23
5.1.3. Les PM ₁₀	26
5.1.4. Comparaison avec d'autres études d'impact des émissions du transport maritime en France	28
5.2. Prélèvements par échantillonnage passif	29
5.2.1. Vitesse et direction du vent	29
5.2.2. Le NO ₂	30
5.2.3. Le SO ₂	32
5.3. Micro-capteurs	32
5.3.1. Résultats généraux	33
5.3.2. Évolutions temporelles	34
6. Conclusion	36

Annexes

ANNEXE 1 : Bibliographie	41
ANNEXE 2 : Représentation statistique des données à l'aide de « boxplot »	42
ANNEXE 3 : Résultats des prélèvements par échantillonnage passif	43

Polluants

→ BC	Black Carbon ou carbone suie
→ CO ₂	dioxyde de carbone
→ COV	Composés Organiques Volatiles
→ HAP	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
→ NO	monoxyde d'azote
→ NO ₂	dioxyde d'azote
→ NO _x	oxydes d'azote
→ O ₃	ozone
→ PM ₁₀	particules de diameter aérodynamique inférieure à 10 µm
→ PM _{2,5}	particules de diameter aérodynamique inférieur à 2,5 µm
→ SO ₂	dioxyde de soufre
→ SO _x	oxydes de soufre

Unités de mesure

→ µg	microgramme (= 1 millionième de gramme = 10 ⁻⁶ g)
→ m ³	mètre cube

Abréviations

→ GPMB	Grand Port Maritime de Bordeaux
→ HFO	fioul lourd
→ IMO/OMI	Organisation Maritime Internationale
→ MDO	diesel marin
→ MGO	essence marine
→ OMINEA	Organisation et Méthodes des Inventaires Nationaux des Émissions Atmosphériques en France
→ PM	Particulate Matter
→ SECA	zone de contrôle des émissions de soufre

1. Contexte et objectifs

Depuis plusieurs années, la qualité de l'air en proximité des zones portuaires est au cœur des préoccupations. En effet, les émissions par le transport maritime ont un impact environnemental avec des effets potentiels sur la santé humaine et le climat.

Les carburants utilisés sont à l'origine de l'émission de divers polluants tels que le dioxyde de carbone (CO₂), le Black Carbon (ou carbone suie (BC)), les oxydes d'azote (NO_x), les oxydes de soufre (SO_x) ou encore les particules de diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm (PM₁₀). Les moteurs des navires, fonctionnant en régime lent, permettent l'utilisation des produits résiduels du raffinage du pétrole brut. Le fioul lourd (HFO), contenant une forte teneur en soufre, est le principal carburant utilisé dans le transport maritime international (EEA, 2013). D'autres carburants tels que le MGO/MDO (essence marine/diesel marin) et l'essence automobile sont également utilisés mais dans une moindre mesure.

1.1. Réglementation

Afin de réduire les émissions du transport maritime dans les zones portuaires et dans les zones spécifiques plus problématiques du fait de la proximité des zones côtières et de la fréquence de passage des bateaux (il existe actuellement quatre zones de contrôle d'émission (ECA) : la mer Baltique (pour les SO_x), la mer du Nord (pour les SO_x), l'Amérique du Nord (pour les SO_x, NO_x et PM) et la mer des Caraïbes (pour les SO_x, NO_x et PM), une réglementation a été mise en place par l'Organisation Maritime Internationale (IMO) (IMO, 2017) et par l'Union Européenne (EEA, 2013) :

- depuis 2015, les navires circulant dans les SECA (zones de contrôle des émissions de soufre) ne peuvent pas utiliser de carburant contenant une teneur en soufre supérieure à 0,1 % en masse. Dans les autres zones de circulation, depuis 2012, les navires ont dû réduire à 3,5 % la teneur maximale en soufre de leur carburant et doivent atteindre 0,5 % d'ici 2020.
- pour les navires transportant des passagers à destination ou en provenance de ports d'un état membre de l'Union Européenne, la teneur en soufre des carburants utilisés en dehors des SECA doit être inférieure ou égale à 1,5 %. Cette limite sera abaissée à 0,5 % en 2020.
- dans les espaces de circulation hors SECA, une teneur maximale en soufre de 0,1 % est imposée aux navires à quai plus de 2h dans les ports européens,
- l'Union Européenne a également introduit la possibilité de tester et d'utiliser les technologies de réduction des émissions.

1.2. Bordeaux

Le Grand Port Maritime de Bordeaux (GPMB) compte six ports répartis le long de l'estuaire de la Garonne : Le Verdon, Pauillac, Blaye, Ambès, Bassens et Bordeaux (Figure 1).

1 076 escales ont été recensées en 2014 dont 31 escales sur le port de la Lune à Bordeaux. Une fluctuation du trafic maritime a été enregistrée sur ce port depuis 2014 :

- 2015 : 35 escales de paquebots maritimes,
- 2016 : 33 escales de paquebots maritimes,
- 2017 : 39 escales de paquebots maritimes.

En 2018, 31 escales de paquebots maritimes sont programmées dans le port de La Lune.



Figure 1 : Localisation des différents ports du GPMB

Sur les mois d'avril et mai 2018, 11 escales de paquebots maritimes et une escale d'un grand yacht ont été effectuées dans le port de la Lune à Bordeaux (Figure 2, Tableau 1). De plus, 48 escales de paquebots fluviaux ont été enregistrées sur cette même période.



Figure 2 : Localisation des quais de paquebots maritimes et fluviaux

		Nombre d'escales
Quais paquebots maritimes	P124	2
	P127	9
Quais paquebots fluviaux		48

Tableau 1 : Nombre d'escales enregistrées en avril et mai 2018

Du fait de la situation du port de la Lune, en plein cœur de Bordeaux, les riverains s'inquiètent de l'air qu'ils respirent. Ainsi Bordeaux Métropole a sollicité Atmo Nouvelle-Aquitaine afin d'apporter des éléments de réponses concernant l'impact du trafic maritime aux abords de ce port.

L'objectif de cette étude est alors d'évaluer l'impact sur la qualité de l'air des paquebots maritimes et fluviaux faisant escale sur les quais de Bordeaux.

Le dispositif déployé pour cette campagne s'est appuyé sur deux techniques de mesures complémentaires :

- une station de mesure mobile, installée sur les quais, rive gauche, mesurant 24h/24, les niveaux de particules en suspension (PM_{10}), des oxydes d'azote (NO_x), et du dioxyde de soufre (SO_2),
- une cartographie par échantillonneurs passifs avec douze points de prélèvement mesurant les concentrations hebdomadaires de dioxyde d'azote (NO_2) et de dioxyde de soufre (SO_2) répartis autour du port maritime (rive gauche et rive droite de la Garonne).

En complément de la cabine mobile et des échantillonneurs passifs une expérimentation de mesures avec trois micro-capteurs est venue compléter le dispositif pour suivre en continu les niveaux de NO_2 et PM_{10} .

2. Inventaire des émissions

L'inventaire régional spatialisé des émissions atmosphériques effectué par Atmo Nouvelle-Aquitaine, correspond à la qualification et la quantification des différents polluants et gaz à effet de serre émis par les différents secteurs d'activité (transports, résidentiel-tertiaire, industrie, agriculture, etc.) sur un territoire et une échelle de temps donnée. Cet inventaire a été réalisé pour l'année de référence 2014 selon une méthodologie spécifique¹.

2.1. Méthodologie du secteur maritime

L'estimation des émissions associées au transport maritime de marchandises et de personnes est limitée aux émissions des navires lors de leurs phases de mouvement et de stationnement. La principale source d'émission de ce secteur est alors la combustion de carburant nécessaire à la propulsion des navires ainsi qu'à la fourniture d'énergie pour tous les équipements embarqués.

La méthode d'estimation de ces émissions est la suivante :

$$E_p = C \times F_p$$

avec E = émissions

C = consommation de carburant

F = facteur d'émission issue de l'OMINEA (Organisation et Méthodes des Inventaires Nationaux des Émissions Atmosphériques en France)

p = polluant.

L'estimation des consommations énergétiques des navires est réalisée pour différentes phases de navigation :

- stationnement des navires à quai,
- phase de manœuvre correspondant à la prise en charge des navires par les remorqueurs à l'entrée des ports,
- phase d'approche correspondant aux mouvements des navires dans les chenaux d'accès au port où la vitesse est réglementée. Dans le cas du Grand Port Maritime de Bordeaux, cette phase débute dès l'embouchure de la Garonne jusqu'à l'entrée des différents ports de l'estuaire.
- phase de croisière en mer où les moteurs des navires fonctionnent à pleine puissance.

Plusieurs paramètres sont pris en compte dans les calculs de consommations :

- le type de navire (pétroliers, cargos, porte-conteneurs, paquebots, etc.),
- le type de motorisation (principale et auxiliaire) et leur puissance associée,
- le type de carburant utilisé,
- des paramètres propres aux phases de navigation (durée de stationnement à quai, vitesse du navire et distance parcourue pour les phases en mouvement, etc.),
- le trafic du port avec le nombre d'escale par an par catégorie de navire.

Tous ces éléments ont été pris en compte pour l'estimation des émissions maritimes du Grand Port Maritime de Bordeaux (GPMB) pour l'année de référence 2014. Les paquebots fluviaux ne sont pas pris en compte dans cette méthodologie car ils n'ont pas les mêmes caractéristiques que les navires maritimes.

¹ Guide méthodologique pour l'élaboration des inventaires territoriaux des émissions atmosphériques – Ministère de la transition écologique et solidaire – Juin 2018

2.2. Bilan des émissions maritimes du GPMB

Les émissions du trafic maritime dans le GPMB, tout navire confondu (hors fluvial), sont représentées dans le Tableau 2, avec un détail des émissions liées aux paquebots maritimes s'arrêtant sur les postes à quai 124 et 127 du port de la Lune de Bordeaux (en face de la place des Quinconces). Les émissions en mer ne sont pas représentées dans ce tableau, seules les émissions depuis l'embouchure de la Garonne sont prises en compte. Le port de la Lune de Bordeaux n'héberge que des navires touristiques (paquebots, voiliers, yachts privés), les résultats du port de Bordeaux présentés dans le Tableau 2 sont focalisés sur les paquebots.

Émissions en tonne/an	SO ₂	NO _x	PM ₁₀	CO ₂	CO	C ₆ H ₆
GPMB : tout type de navire	30	1 196	67	48 000	113	8
Port de Bordeaux : paquebot	1,4	57	3	2 272	5	0,4

Tableau 2 : Émissions du trafic maritime 2014 sur le Grand Port Maritime de Bordeaux (GPMB)

Les émissions de dioxyde de soufre (SO₂) liées aux paquebots maritimes dans le port de Bordeaux ne représentent que 4,7 % des émissions maritimes totales du GPMB. Les émissions de NO_x et PM₁₀ de ces paquebots représentent quant à eux respectivement 4,8 % et 4,5 % des émissions totales du GPMB.

Le détail des émissions des paquebots maritimes faisant escale dans le port de Bordeaux par phase de navigation (hors phase de croisière en mer), montre que la phase d'approche représente 66 % des émissions, suivie par la phase de stationnement à quai puis la phase de manœuvre représentant respectivement 30 % et 4 % des émissions totales des paquebots du port de la Lune. À noter que la phase d'approche est calculée en fonction de la distance parcourue par navire depuis l'embouchure de l'estuaire jusqu'au quai d'escale. Ainsi pour le port de Bordeaux la phase d'approche est conséquente mais les émissions sont réparties tout le long de l'estuaire et seule une faible part est réellement émise sur le territoire de Bordeaux.

Les navires permutent leurs combustibles (fioul lourd en diesel marin) pour respecter la réglementation sur le soufre dès l'embouchure du fleuve, ainsi la teneur en soufre des combustibles est plus élevée lors de la phase de croisière en mer (fioul lourd) que dans les trois autres phases (diesel marin en approche, lors de la manœuvre et à quai).

2.3. Bilan des émissions de Bordeaux

Le bilan des émissions de polluants atmosphériques sur la ville de Bordeaux présente une répartition sectorielle des émissions bien différente de celles de l'agglomération de Bordeaux Métropole. Ceci s'explique par certaines sources émettrices absentes sur la ville de Bordeaux mais présentes sur les communes alentours comme par exemple l'aéroport de Mérignac, les ports maritimes de Bassens et d'Ambès présentant un trafic maritime plus important et plus industriel que le port de Bordeaux. Un important tissu industriel est également présent sur l'agglomération contrairement à la ville de Bordeaux.

Les trois parties ci-dessous présentent le bilan des émissions de la ville de Bordeaux pour les trois polluants mesurés dans cette étude : les oxydes d'azote (NO_x), le dioxyde de soufre (SO₂) et les particules fines (PM₁₀).

2.3.1. Les oxydes d'azote (NO_x)

Les sources d'oxydes d'azote (NO_x) proviennent principalement des phénomènes de combustion.

Les émissions de NO_x de la ville de Bordeaux s'élèvent à 1 072 tonnes en 2014, ce qui correspond à 13 % des émissions de Bordeaux Métropole. Elles sont dominées par la combustion du transport routier (57 %) mais aussi du résidentiel/tertiaire (29 %) et de l'industrie (9 %) (Figure 3).

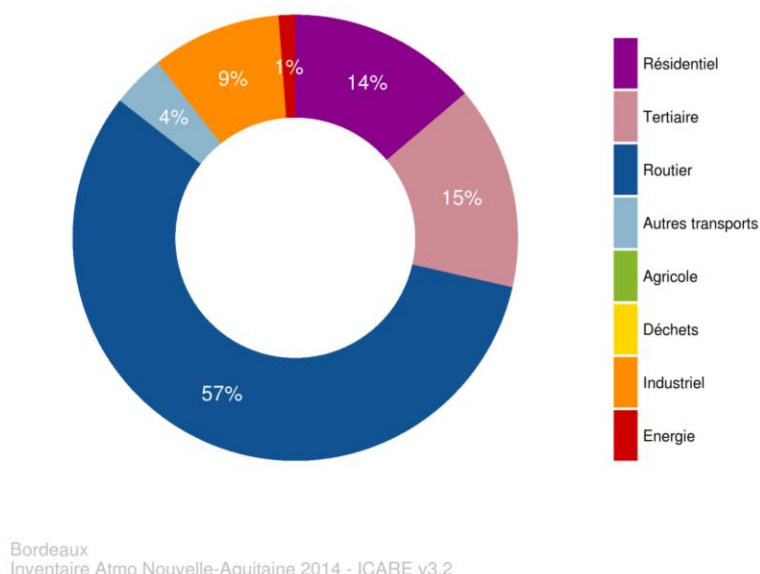


Figure 3 : Bordeaux - Répartition des émissions de NO_x par secteur

Les émissions de NO_x des transports hors routier, représentant 4 % des émissions de Bordeaux, sont dominées à 65 % par le secteur maritime, ce qui représente 27 tonnes de NO_x (Figure 4).

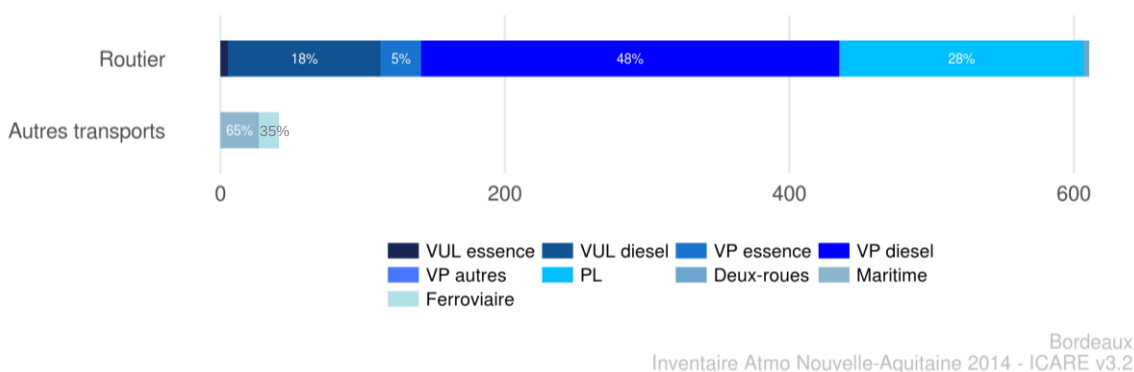
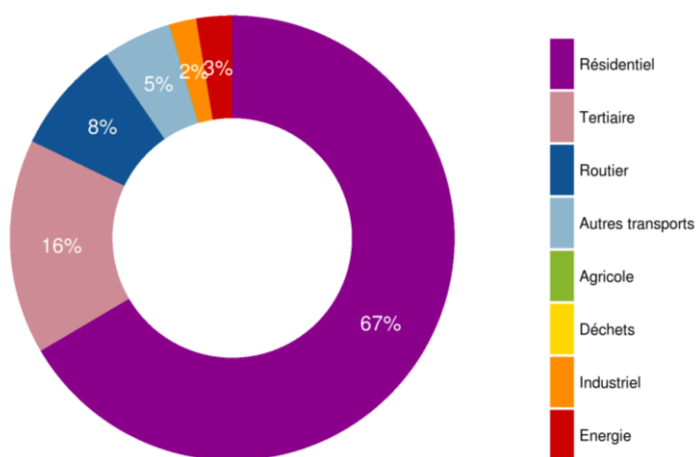


Figure 4 : Bordeaux - NO_x émissions du secteur des transports, en tonnes

2.3.2. Le dioxyde de soufre (SO₂)

Les émissions de dioxyde de soufre de la ville de Bordeaux s'élèvent à 14 tonnes en 2014, ce qui correspond à 0,7 % des émissions de Bordeaux Métropole fortement industrialisé par rapport à la ville de Bordeaux.

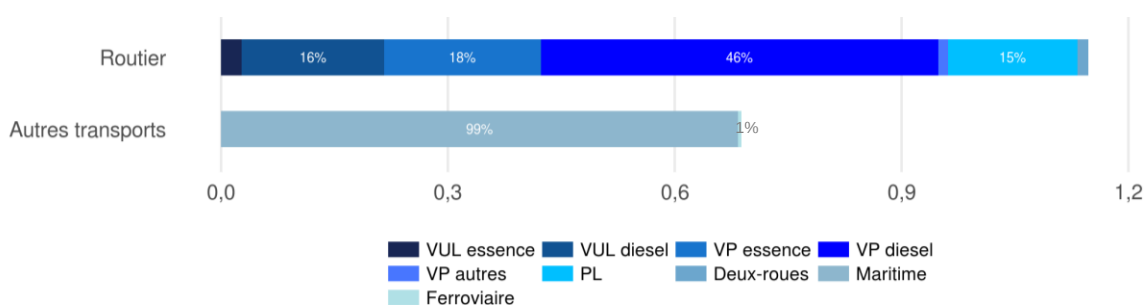
La répartition sectorielle des émissions de Bordeaux montre une forte contribution des secteurs résidentiel/tertiaire (83 %). Les transports contribuent quant à eux à 13 % dont 8 % pour le transport routier (Figure 5).



Bordeaux
Inventaire Atmo Nouvelle-Aquitaine 2014 - ICARE v3.2

Figure 5 : Bordeaux - Répartition des émissions de SO₂ par secteur

Concernant les émissions des autres transports représentant 5 % des émissions de Bordeaux, elles sont dominées par le transport maritime correspondant à 0,7 tonnes en 2014 (Figure 6).

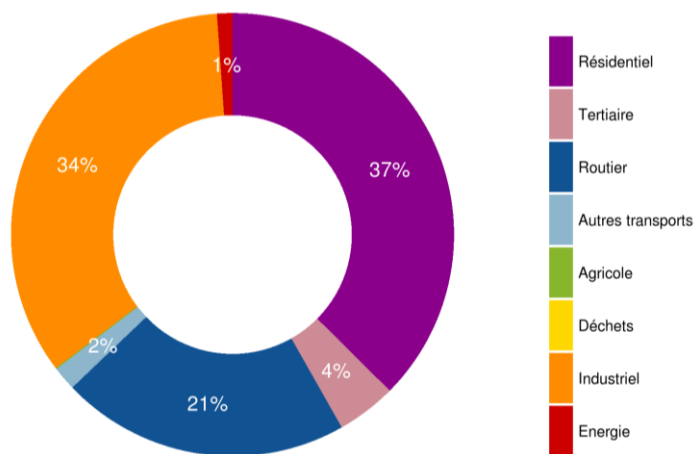


Bordeaux
Inventaire Atmo Nouvelle-Aquitaine 2014 - ICARE v3.2

Figure 6 : Bordeaux - SO₂ émissions du secteur des transports, en tonnes

2.3.3. Les particules en suspension (PM₁₀)

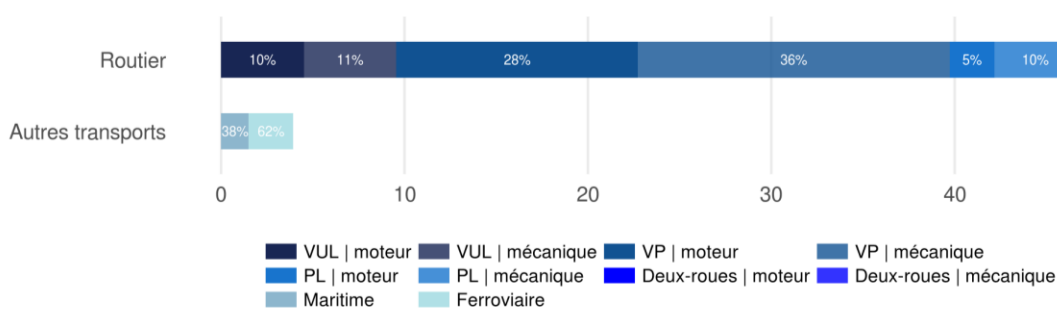
Les émissions de PM₁₀ de la ville de Bordeaux s'élèvent à 224 tonnes en 2014, ce qui correspond à 19 % des émissions de Bordeaux Métropole. Les sources de particules sont multiples. Trois secteurs d'activités se partagent les émissions de particules : résidentiel/tertiaire (41 %), industriel (34 %) et transports (23 %) (Figure 7).



Bordeaux
Inventaire Atmo Nouvelle-Aquitaine 2014 - ICARE v3.2

Figure 7 : Bordeaux - Répartition des émissions de PM_{10} par secteur

Le transport routier représente 21 % des émissions totales de particules à Bordeaux contre 2 % pour les autres transports. Celles-ci sont dominées par le secteur ferroviaire à 62 % liées notamment à l'usure des freins, roues et rails des trains. Le secteur maritime représente quant à lui 38 % des émissions des transports hors routier, soit 1,5 tonnes en 2014 (Figure 8).



Bordeaux
Inventaire Atmo Nouvelle-Aquitaine 2014 - ICARE v3.2

Figure 8 : Bordeaux - PM_{10} , émissions du secteur des transports, en tonnes

3. Mise en œuvre des mesures

3.1. Sites de prélèvement

Les sites de mesure ont été choisis dans des secteurs potentiellement exposés aux rejets des paquebots, en tenant compte des contraintes techniques et de sécurité.

14 sites de mesure ont été choisis pour l'étude (Figure 9).

L'ensemble des analyseurs automatiques a été installé dans un laboratoire mobile. Ce laboratoire mobile a été positionné sur le Quai Louis XVIII à environ 30 m de la route. Cette position a été choisie du fait de sa proximité avec le quai 127 (quai prioritaire des paquebots maritimes).

12 prélèvements par tubes passifs ont été placés sur les rives gauche et droite de la Garonne (huit sur la rive gauche et quatre sur la rive droite) afin d'avoir une répartition spatiale des concentrations mesurées.

Pour le choix d'emplacement des micro-capteurs, la sécurité des appareils a été primordiale, ainsi ceux-ci ont été placés à une hauteur minimum de 3 m sur des candélabres, deux sur la rive gauche et un sur la rive droite.



Figure 9 : Localisation des points de mesure

3.2. Moyens mis en œuvre

Atmo Nouvelle-Aquitaine a réalisé des mesures de particules PM₁₀, de NO_x et de SO₂ sur plusieurs points, selon le plan d'échantillonnage indiqué dans le Tableau 3.

Polluants	Moyen de mesure	Site	Durée d'échantillonnage
PM ₁₀	mesure automatique	Quai Louis XVIII / Labo mobile	quart-horaire
	micro-capteurs	Quai Louis XVIII / Labo mobile	quart-horaire
		rive gauche / La Fayette	
		rive droite / Terrain Foot	
NO _x et SO ₂	mesure automatique	Quai Louis XVIII / Labo mobile	quart-horaire
	tubes passifs	rive gauche / Jardin Public	hebdomadaire
		rive gauche / Quinconces	
		Quai Louis XVIII / Labo mobile	
		rive gauche / Quai 124	
		rive gauche / Place Bourse	
		rive gauche / Ibaia	
		rive gauche / Albert Londres	
		rive gauche / Hangar 14	
		rive droite / Montesquieu	
		rive droite / Parc aux Angéliques	
		rive droite / Guinguette Alriq	
		rive droite / Jardin Botanique	

Tableau 3 : Polluants investigués sur chaque site de mesure

En parallèle, deux stations à proximité de la zone d'étude ont permis d'avoir un point de comparaison entre les données de l'étude et les données mesurées en continu dans la ville de Bordeaux. Les deux stations utilisées sont (Figure 9) :

- Grand Parc (44°51'40.36"N, 0°34'49.32"O) : station fixe de fond urbain d'Atmo Nouvelle-Aquitaine depuis 1997 située dans un parc. Cette station, située dans un quartier urbain dense (immeubles d'habitation, école, etc.) sans proximité directe d'un axe routier important, est, à priori, influencée par diverses sources telles que les transports et les sources domestiques.
- Gautier (44°50'01.80"N, 0°35'54.70"O) : station sous influence du trafic routier d'Atmo Nouvelle-Aquitaine depuis novembre 2017. Cette station, située en bordure du Boulevard Antoine Gautier où passent en moyenne 40 000 véhicules par jour, mesure essentiellement des concentrations en polluants provenant du trafic routier.

3.2.1. Les particules en suspension (PM₁₀)

Généralités

Les particules, ou aérosols atmosphériques, sont constituées d'un mélange complexe de substances carbonées, métalliques et ioniques en suspension dans l'air, sous forme solide ou liquide. Ces particules se distinguent par leur composition chimique et leur granulométrie. Les particules mesurées dans la présente étude appelées PM₁₀ sont des particules dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 10 µm.

Les propriétés physico-chimiques de cette matière particulaire (PM, Particulate Matter) sont fortement liées à leurs sources d'émission naturelles (poussières minérales, biogéniques, cendres volcaniques, etc.) ou anthropiques (particules issues de la combustion de fuel fossile, des activités industrielles, du chauffage domestique, etc.) mais également à leurs évolutions dans l'atmosphère.

Deux types d'aérosols peuvent être distingués selon leur processus de formation :

- les aérosols primaires émis directement dans l'atmosphère par différents mécanismes (action mécanique du vent sur les roches, les sols ou les sables, par des processus de combustion tels que les feux de forêts ou les unités d'incinération, par les éruptions volcaniques, par des processus biologiques conduisant à l'émission de pollens ou de débris végétaux, par des activités industrielles telles que la construction de bâtiments ou encore par usure de matériaux de synthèse tels que les pneus et les revêtements des routes),
- les aérosols secondaires formés dans l'atmosphère par des processus de transformation et de condensation de composés gazeux. Certains composés gazeux, appelés précurseurs d'aérosols, peuvent conduire, à travers diverses transformations chimiques, telles que l'oxydation, à des composés de plus faibles tensions de vapeur se condensant et formant la matière particulaire. Les principaux précurseurs gazeux conduisant à la formation de la matière particulaire sont les Composés Organiques Volatiles (COV), les oxydes de soufre et d'azote (SO_x, NO_x) et l'ammoniac.

Ces particules sont aujourd'hui reconnues pour avoir des conséquences néfastes sur la santé humaine et l'environnement.

La nocivité des particules dépend de leur composition et de leur taille. En effet, les particules peuvent véhiculer des composés toxiques, allergènes, mutagènes ou cancérigènes tels que les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP), les pesticides, les dioxines ou les métaux lourds, pouvant atteindre les poumons puis être absorbés par le sang et les tissus. De plus, les particules les plus fines (diamètre inférieur à 2,5 µm) peuvent pénétrer profondément dans le système respiratoire et atteindre les bronchioles et alvéoles pulmonaires, tandis que les particules de taille plus importante sont arrêtées par les voies respiratoires supérieures.

Les effets de salissure sur les bâtiments et les monuments sont les effets environnementaux les plus évidents.

Réglementation (Décret 2010-1250 du 21 octobre 2010)

Type de seuil	Type de moyenne	Valeurs à respecter et dépassements autorisés
valeur limite	annuelle	40 µg/m ³
	journalière	50 µg/m ³ avec 35 jours par an de dépassement autorisé
objectif de qualité	annuelle	30 µg/m ³

Tableau 4 : Réglementation européenne pour les PM₁₀

Matériel et méthode

Sur le Quai Louis XVIII, rive gauche de la Garonne, une jauge bêta de marque Met One modèle BAM-1020 a été le moyen utilisé pour la mesure des particules en continu. Son principe de fonctionnement est le suivant : les particules sont prélevées sur une bande filtrante, sous la forme de « tâches ». La jauge est équipée d'une source radioactive qui émet une quantité connue de rayonnement bêta en direction de la tâche. Un

récepteur, placé de l'autre côté de la tâche, mesure la quantité de rayonnement qui est passée au travers. L'atténuation de rayonnement observée, directement dépendante de la quantité de particules prélevée sur la tâche, permet d'estimer la quantité de particules présente dans l'air ambiant. Les particules de taille inférieure à 10 µm (PM₁₀) ont été mesurées sur le quai avec cet équipement. Cette technique de mesure est équivalente à la méthode de référence définie dans la norme NF EN 12341².

Les PM₁₀ ont également été mesurées au moyen de micro-capteurs de la marque Cairpol (Cairsens) par comptage optique.

Ces appareils ne sont pas aussi précis que les analyseurs placés dans le laboratoire mobile. Cependant, une intercomparaison des micro-capteurs a été réalisée sur un site équipé d'un analyseur de référence sur une semaine avant et après la campagne afin de valider la reproductibilité des micro-capteurs. De plus, pendant la campagne, une intercomparaison entre un micro-capteur et un analyseur de référence a été maintenue.

3.2.2. Les oxydes d'azote (NO_x)

Généralités

Le terme « oxydes d'azote » désigne le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO₂). Ces composés se forment par des processus de combustion. Le monoxyde d'azote (NO) anthropique est formé lors des combustions à haute température (moteurs thermiques ou chaudières). Plus la température de combustion est élevée et plus la quantité de NO générée est importante. Au contact de l'air, le NO est rapidement oxydé en dioxyde d'azote (NO₂). En air extérieur urbain, les sources principales sont liées aux transports, ainsi qu'aux installations de combustion et au chauffage.

Le NO₂ est un gaz irritant qui pénètre dans les plus fines ramifications des voies respiratoires. Il peut, dès 200 µg/m³, entraîner une altération de la fonction respiratoire, une hyper-réactivité bronchique chez l'asthmatique et un accroissement de la sensibilité des bronches aux infections chez l'enfant.

Les NO_x interviennent dans le processus de formation d'ozone dans la basse atmosphère dont il est l'un des précurseurs. Ils contribuent également au phénomène des pluies acides ainsi qu'à l'eutrophisation des cours d'eau et des lacs.

Réglementation (Décret 2010-1250 du 21 octobre 2010)

Type de seuil	Type de moyenne	Valeurs à respecter et dépassements autorisés
valeur limite	annuelle	40 µg/m ³
	horaire	200 µg/m ³ avec 18 heures par an de dépassement autorisé

Tableau 5 : Réglementation européenne pour le NO₂

Matériel et méthode

Les oxydes d'azote ont été mesurés en continu par chimiluminescence selon la méthode de référence définie dans la norme NF EN 14211³ et Atmo Nouvelle-Aquitaine est accrédité COFRAC selon le référentiel ISO 17025 pour cette méthode de mesure.

Note : Les informations liées à la portée d'accréditation d'Atmo Nouvelle-Aquitaine sont disponibles sur le site www.cofrac.fr sous le numéro 1-6354. Les avis et interprétations ne sont pas couverts par l'accréditation COFRAC d'Atmo Nouvelle-Aquitaine. Toute

² NF EN 12341 Juin 2014 - Air ambiant - Méthode normalisée de mesurage gravimétrique pour la détermination de la concentration massique MP10 ou MP2,5 de matière particulaire en suspension

³ NF EN 14211 Octobre 2012 - Air ambiant - Méthode normalisée pour le mesurage de la concentration en dioxyde d'azote et monoxyde d'azote par chimiluminescence

utilisation des données d'Atmo Nouvelle-Aquitaine, couvertes par l'accréditation doit faire mention : "Ces essais ont été réalisés par Atmo Nouvelle-Aquitaine – Accréditation n°1-6354, portée disponible sous www.cofrac.fr".

Le dioxyde d'azote a également été quantifié par échantillonnage passif, sur des tubes de marque Gradko. Il s'agit d'un tube cylindrique contenant à une extrémité deux grilles en acier inoxydable imprégnées de solution de triéthanolamine qui piège le NO₂. Une fois récupérés, les tubes ont ensuite été analysés au laboratoire d'Atmo Nouvelle-Aquitaine.

Les micro-capteurs utilisés pour la mesure des PM₁₀ ont également servi à la mesure du NO₂. Ce capteur électrochimique permet la mesure du NO₂ grâce à un SCRUBBER ozone.

3.2.3. Le dioxyde de soufre (SO₂)

Généralités

Le SO₂ est un gaz qui résulte essentiellement de la combustion de matières fossiles contenant du soufre (charbon, fuel, gazole, etc.) et majoritairement de procédés industriels. En France, compte tenu du développement de l'énergie électronucléaire, de la régression du fuel lourd et du charbon, d'une bonne maîtrise des consommations énergétiques et de la réduction de la teneur en soufre des combustibles et carburants, les concentrations ambiantes en SO₂ ont diminué en moyenne de plus de 50 % depuis 15 ans.

Ce gaz est irritant pour les muqueuses, la peau et les voies respiratoires supérieures (toux, dysphées, etc.). Il agit en synergie avec d'autres substances et notamment les particules en suspension. Il est associé à une altération de la fonction pulmonaire chez l'enfant et à une exacerbation des symptômes respiratoires aigus chez l'adulte (toux, gêne respiratoire). Les personnes asthmatiques y sont particulièrement sensibles.

En présence d'humidité, il se transforme en acide sulfurique et contribue au phénomène des pluies acides et à la dégradation de la pierre et des matériaux de certaines constructions.

Réglementation (Décret 2010-1250 du 21 octobre 2010)

Type de seuil	Type de moyenne	Valeurs à respecter et dépassements autorisés
valeur limite	journalière	125 µg/m ³ avec 3 jours par an de dépassement autorisé
	horaire	350 µg/m ³ avec 24 heures par an de dépassement autorisé
objectif de qualité	annuelle	50 µg/m ³

Tableau 6 : Réglementation européenne pour le SO₂

Matériel et méthode

Le dioxyde de soufre a été mesuré en continu par fluorescence UV selon la méthode de référence définie dans la norme NF EN 14212⁴ et Atmo Nouvelle-Aquitaine est accrédité COFRAC selon le référentiel ISO 17025 pour cette méthode de mesure.

Note : Les informations liées à la portée d'accréditation d'Atmo Nouvelle-Aquitaine sont disponibles sur le site www.cofrac.fr sous le numéro 1-6354. Les avis et interprétations ne sont pas couverts par l'accréditation COFRAC d'Atmo Nouvelle-Aquitaine. Toute utilisation des données d'Atmo Nouvelle-Aquitaine, couvertes par l'accréditation doit faire mention : "Ces essais ont été réalisés par Atmo Nouvelle-Aquitaine – Accréditation n°1-6354, portée disponible sous www.cofrac.fr".

⁴ NF EN 14212 Janvier 2013 - Air ambiant - Méthode normalisée pour le mesurage de la concentration en dioxyde de soufre par fluorescence U.V.

Le dioxyde de soufre a également été prélevé par échantillonnage passif sur une cartouche Radiello code 166 couplée au corps diffusif bleu code 120-1. La cartouche code 166 est en polyéthylène microporeux imbibé de triéthanolamine (TEA) humide. Le SO₂ est chimiabsorbé par la TEA sous forme d'ions sulfite et sulfate. Ces ions sont mesurés par chromatographie ionique. Les analyses ont été conduites par le laboratoire Tera Environnement.

3.3. Bilan de la phase de mesure

La campagne de mesure s'est déroulée pendant deux mois en avril et mai 2018. Le laboratoire mobile contenant les analyseurs automatiques a été installé du 28 mars au 1^{er} juin 2018.

Les prélèvements par échantillonnage passif (SO₂ et NO₂) ont été prévus pour couvrir huit semaines (du 5 avril au 31 mai 2018). Or, en raison de la perte/vol de certains tubes plusieurs sites présentent moins de résultats de mesure. De plus, du fait de la réception tardive des tubes passifs SO₂, les mesures ont commencé le 14 avril.

Les mesures par micro-capteurs ont été retardées par rapport au début de la campagne par tubes et analyseurs automatiques du fait d'un problème de fonctionnement. De plus, le micro-capteur situé sur la rive droite a présenté un problème de carte électronique et n'a pu être remis en service que le 15 mai.

Le calendrier des mesures est présenté sur la Figure 10.

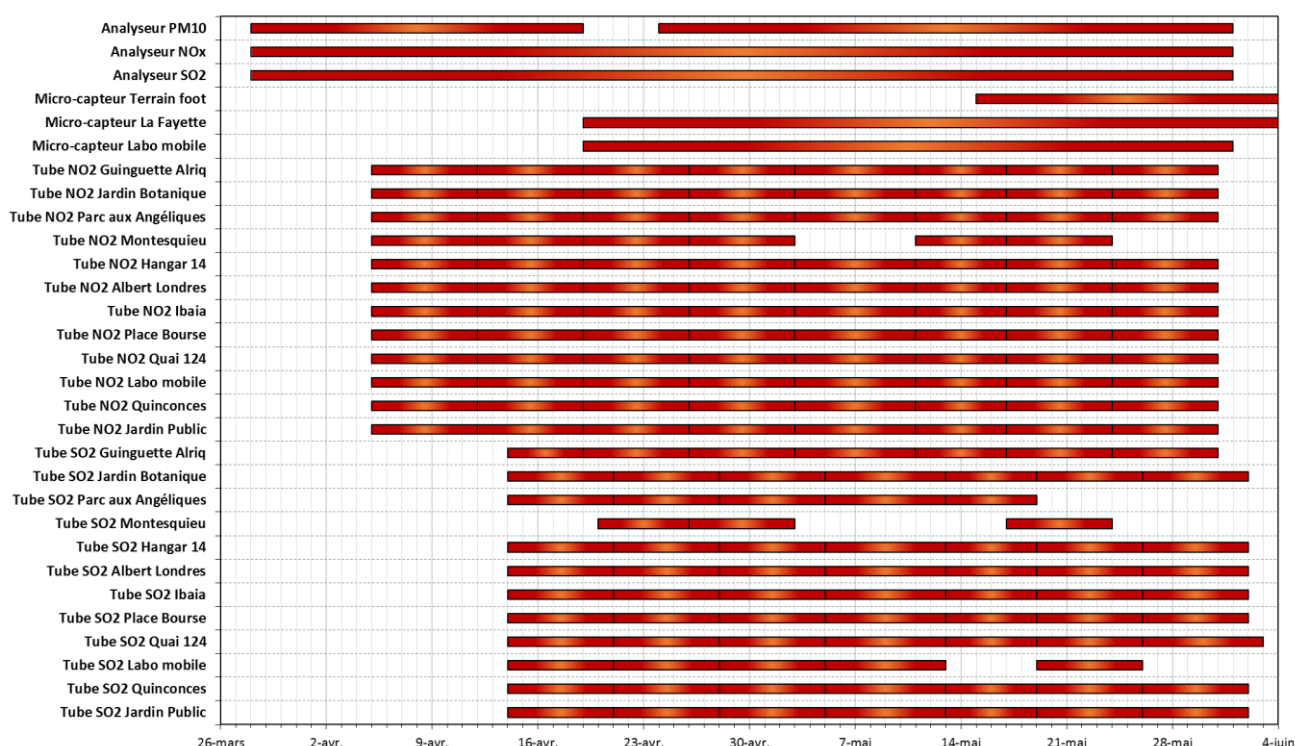


Figure 10 : Planification des mesures

Le Tableau 7 présente le taux de fonctionnement des dispositifs de mesure utilisés pour chaque site.

Analyseurs	
%	Quai Louis XVIII
PM ₁₀	91
NO _x	88
SO ₂	84

Micro-capteurs			
%	Labo mobile	La Fayette	Terrain Foot
PM ₁₀	97	99	45
NO ₂	99	99	54

Tubes passifs												
%	Jardin Public	Quinconces	Labo mobile	Quai 124	Place Bourse	Ibaia	Albert Londres	Hangar 14	Montesquieu	Parc aux Angéliques	Guinguette Alriq	Jardin Botanique
NO ₂	100	100	100	100	100	100	100	100	75	100	100	100
SO ₂	100	100	71	100	100	100	100	100	43	71	100	100

Tableau 7 : Taux de fonctionnement des différents dispositifs de mesure utilisés dans le cadre de cette campagne pour chaque site

4. Conditions météorologiques

Les résultats ci-dessous ont été élaborés à partir des mesures enregistrées par la station de Météo-France « Bordeaux - Mérignac » pendant la période de mesure (du 28 mars au 1^{er} juin 2018).

La Figure 11 présente la rose des vents associée aux vitesses de vents et aux directions de vents mesurées lors de la campagne. 8 % des vents ont été calmes (inférieurs à 1 m/s). Ces vents étant trop faibles pour que leur direction soit établie, ils ne sont pas pris en compte dans la Figure 11. Les vents dominants (43 % des vents) ont été compris entre 1 et 3 m/s et issus d'un large secteur nord, nord-ouest, ouest et sud-ouest. Les vents les plus forts (supérieurs à 7 m/s) enregistrés (5 % des vents) ont été issus d'un large secteur ouest. Ainsi, au vu de ces données, la rive droite de la Garonne devrait être la plus impactée par les émissions des paquebots, tandis que la rive gauche serait plus impactée par les émissions issues de la ville (trafic routier, sources résidentielles, etc.). Les points de mesure situés sur la rive gauche, au nord-ouest des quais, pourraient également subir la pollution des paquebots.

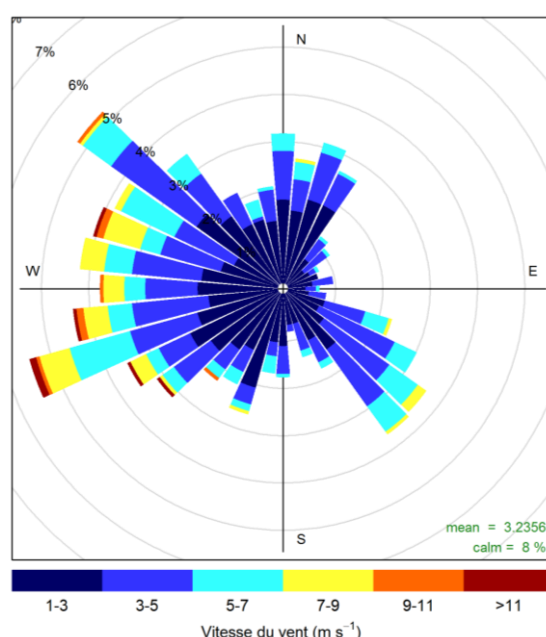


Figure 11 : Rose des vents à Bordeaux - Mérignac (données horaires)

Sur la période de mesure, le cumul des précipitations a été de 152,2 mm (Figure 12). Le maximum horaire a été de 10 mm atteint le 10 avril à 18h (heure UTC). Sur l'ensemble de cette journée, 25 mm de pluie ont été enregistrés. Les périodes les plus chaudes ont été associées à peu ou pas de précipitations (Figure 12).

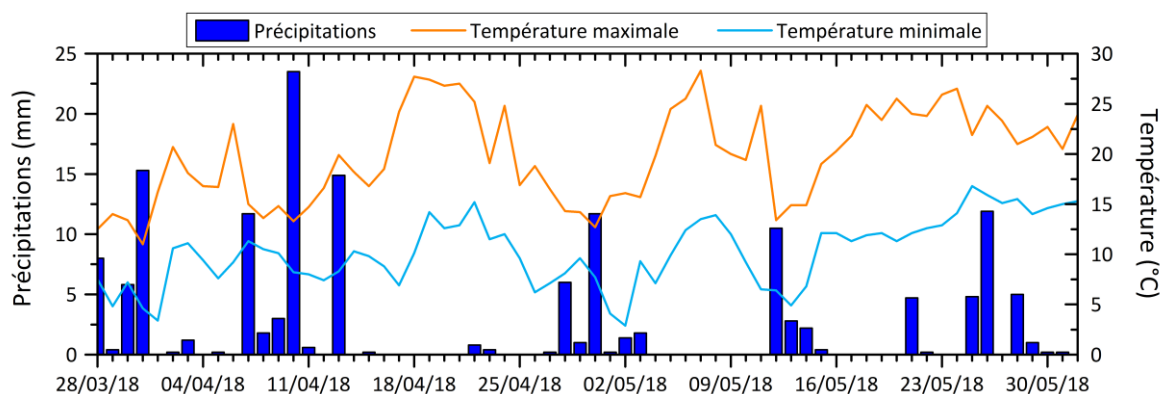


Figure 12 : Pluviométrie et températures minimale et maximale enregistrées à Bordeaux - Mérignac lors de la campagne (données journalières)

5. Résultats

5.1. Mesures automatiques

Quatre polluants ont été suivis en continu sur le Quai Louis XVIII : les NO_x, les PM₁₀ et le SO₂. Les résultats ont été comparés à trois stations de Bordeaux et des communes voisines proches du site d'étude : Grand Parc qui est une station de fond urbain, Gautier, une station sous influence du trafic routier et Bassens, une station sous influence urbaine proche d'une zone industrielle (Figure 13).

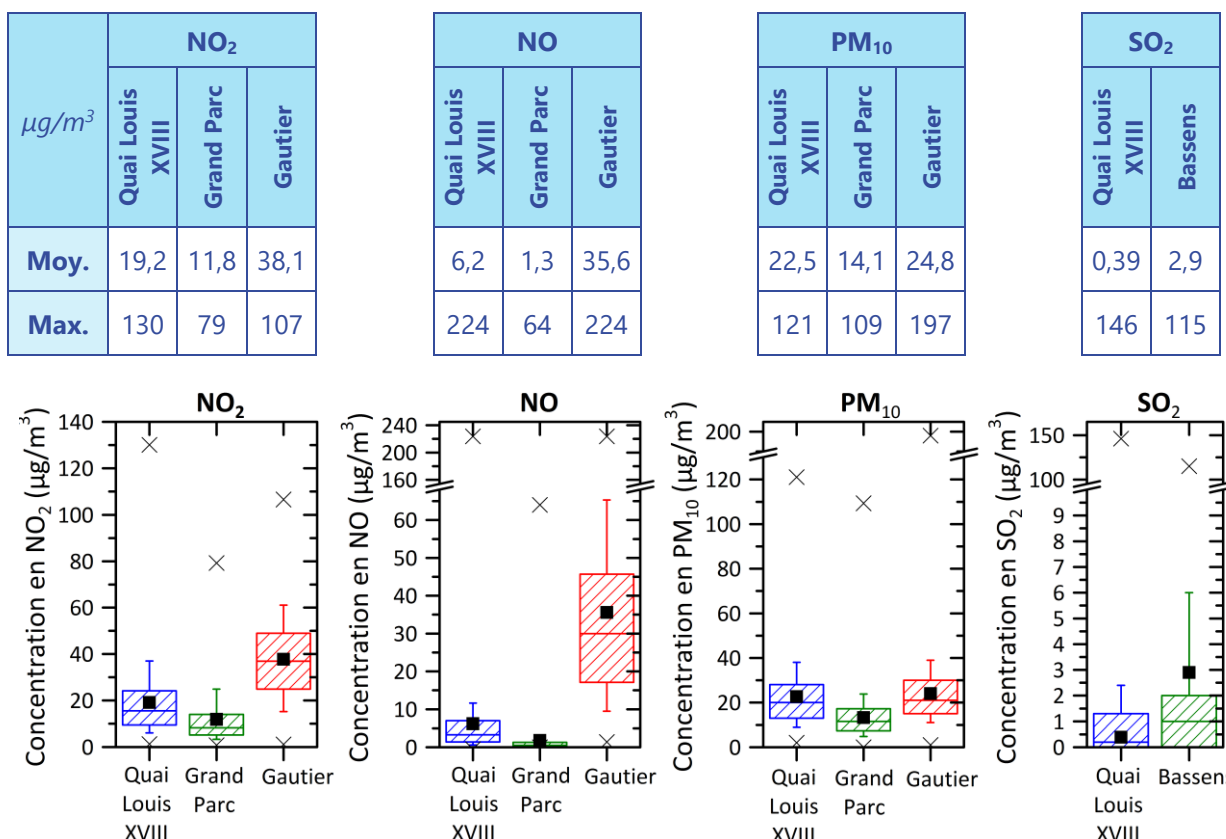


Figure 13 : Concentrations horaires de NO₂, NO, PM₁₀ et SO₂ sur les sites du laboratoire mobile Quai Louis XVIII, de deux stations de Bordeaux proches de l'étude (Grand Parc et Gautier) et de la station Bordeaux-Bassens (sous influence urbaine et industrielle) pour toute la durée de la campagne (explication de la représentation en « boxplot » en Annexe 2)

Le site de Grand Parc, non influencé directement par les émissions véhiculaires, présente des concentrations plus faibles que sur les deux autres sites. La station de Gautier, sous forte influence du trafic routier, a enregistré les concentrations les plus élevées avec une moyenne de 92,5 µg/m³ pour les NO_x et de 24,8 µg/m³ pour les PM₁₀. De plus, la concentration moyenne en SO₂ observée sur la station Bassens, site sous influence urbaine proche d'une zone industrielle, en avril et mai 2018 (2,9 µg/m³) est supérieure à la moyenne enregistrée sur le Quai Louis XVIII.



Sur le Quai Louis XVIII, les concentrations des différents polluants mesurés ont été inférieures à celles mesurées, sur la même période, sur plusieurs sites de Bordeaux et des communes voisines : un site de fond urbain, un site influencé par le trafic routier et un site sous influence urbaine proche d'une zone industrielle.

5.1.1. Le SO₂

La moyenne des concentrations en SO₂ sur le site du laboratoire mobile situé sur le Quai Louis XVIII a été de 0,39 µg/m³. Un seul pic de concentration en SO₂ a été enregistré le 11 avril 2018 entre 17 et 18h (heure locale) et a atteint 146 µg/m³ en moyenne horaire.

Pour information, la valeur de l'objectif de qualité du SO₂ est de 50 µg/m³ en moyenne annuelle. De plus, les concentrations ont toujours respecté les recommandations de l'OMS de 500 µg/m³ en moyenne sur 10 min (maximum à 384 µg/m³ en moyenne quart-horaire) et de 20 µg/m³ en moyenne journalière (maximum de 7,4 µg/m³).

La Figure 14 permet de montrer que les concentrations en SO₂ observées sur le site du laboratoire mobile Quai Louis XVIII sur la période d'avril-mai 2018 ont été largement inférieures à des sites sous influence industrielle tels que Lacq mais également à un site de fond urbain tel que Pau-Billère.

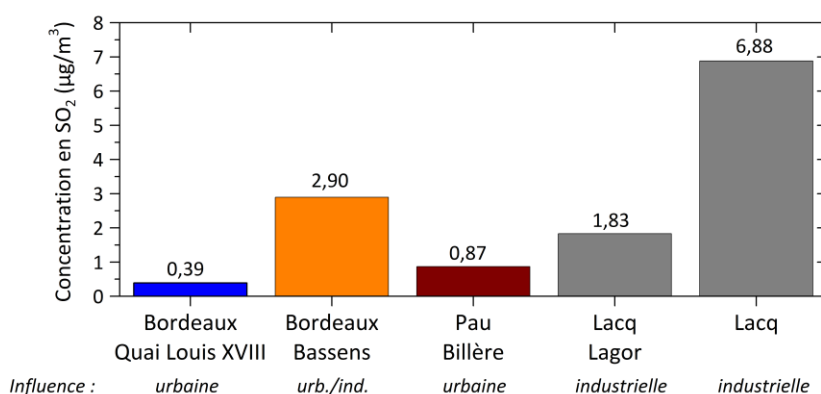


Figure 14 : Comparatif des concentrations moyennes en SO₂ sur le site du laboratoire mobile Quai Louis XVIII et de quatre autres stations de la région Nouvelle-Aquitaine d'influence urbaine et industrielle

La Figure 15 présente l'évolution temporelle des concentrations horaires en SO₂ où le pic du 11 avril est très clairement visible. Cette augmentation de concentration n'atteint pas le seuil réglementaire de 350 µg/m³ et a eu lieu lors du départ du quai d'un paquebot maritime. La Figure 15 permet d'identifier la direction du vent lors de ce pic de concentration : les vents provenaient d'un secteur nord/nord-est. De plus, une plus légère augmentation des concentrations en SO₂ (19,4 µg/m³ en moyenne horaire) a également été identifiée lors d'une escale de paquebot maritime, et plus particulièrement lors de son arrivée à quai le 24 avril entre 16h et 17h (heure locale) avec des vents issus d'un secteur nord/nord-est.

Ainsi, les concentrations en SO₂ mesurées sur le site du laboratoire mobile, Quai Louis XVIII, dépendent à la fois de la présence de paquebot maritime mais également de la direction du vent.

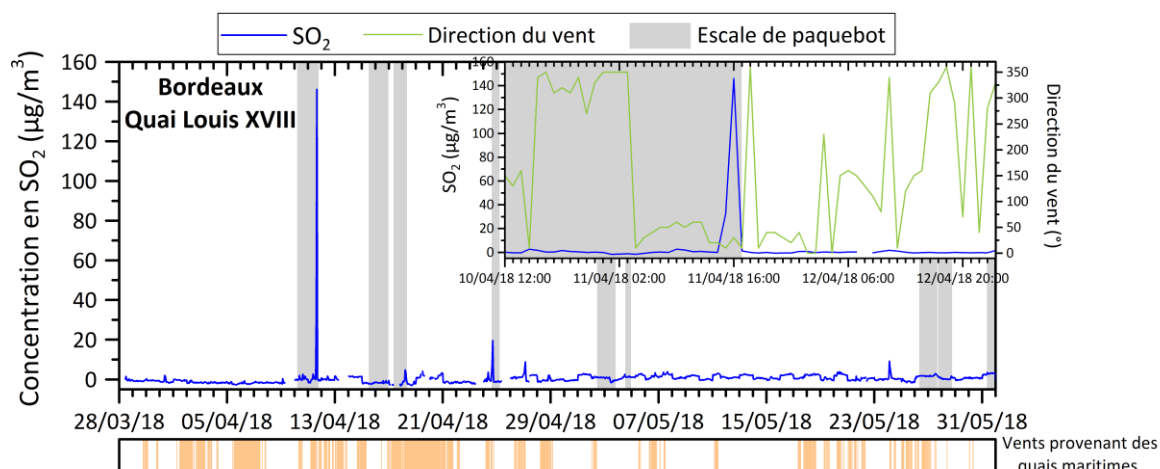


Figure 15 : Évolution temporelle des concentrations horaires en SO₂ sur le site du laboratoire mobile Quai Louis XVIII et zoom sur la période du 10 au 12 avril 2018 (orange : indication des heures pour lesquelles la direction du vent était comprise entre 15° et 170°)



Sur le Quai Louis XVIII, les concentrations en SO_2 sont très faibles à l'exception de quelques pics de fortes concentrations issus des émissions des paquebots maritimes.

5.1.2. Les NO_x

Évolution des concentrations

La moyenne des concentrations en NO_2 et en NO sur le site du laboratoire mobile situé sur le Quai Louis XVIII a été respectivement de $19,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $6,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La valeur du seuil réglementaire en moyenne annuelle du NO_2 est de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Les résultats de cette étude, dont les mesures ont couvert une période de deux mois, ne peuvent leur être comparés qu'à titre indicatif.

L'évolution des concentrations horaires en NO_2 et NO , représentée dans la Figure 16, montre plusieurs périodes de hausse des concentrations dont celles du 10 au 13 avril et du 17 au 22 avril 2018. Aucun dépassement de la valeur limite de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire n'a été enregistrée.

Une hausse, atteignant $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a été observée lors des escales du 10 et 11 avril, en cohérence avec les concentrations en SO_2 et les directions de vent observées (cf. partie 5.1.1.) (Figure 17).

De plus, la Figure 16b, présente distinctement deux pics de NO à l'arrivée d'un paquebot maritime à quai et à son départ. Le 17 avril entre 8h et 9h, les concentrations en NO ont atteint $101 \mu\text{g}/\text{m}^3$, et le 18 avril, entre 7h et 8h, $106 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de NO ont été observées.

De nombreuses élévations des concentrations en NO_x ont également été observées lors de vents issus d'un large secteur ouest, telles que les 21 et 26 avril ou encore les 7, 28, 29 et 30 mai. Ces pics semblent alors être issus du trafic routier.

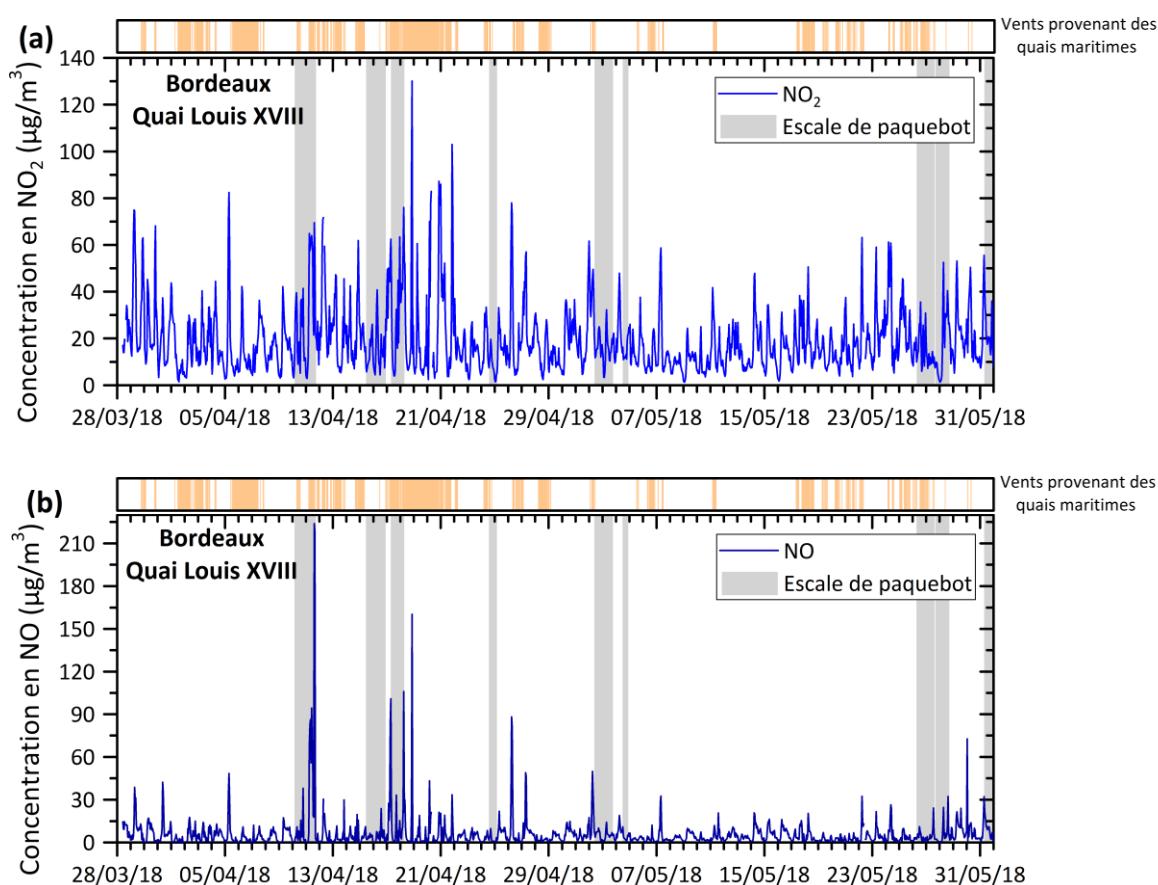


Figure 16 : Évolution temporelle des concentrations horaires en (a) NO_2 et (b) NO sur le site du laboratoire mobile Quai Louis XVIII (orange : indication des heures pour lesquelles la direction du vent était comprise entre 15° et 170°)

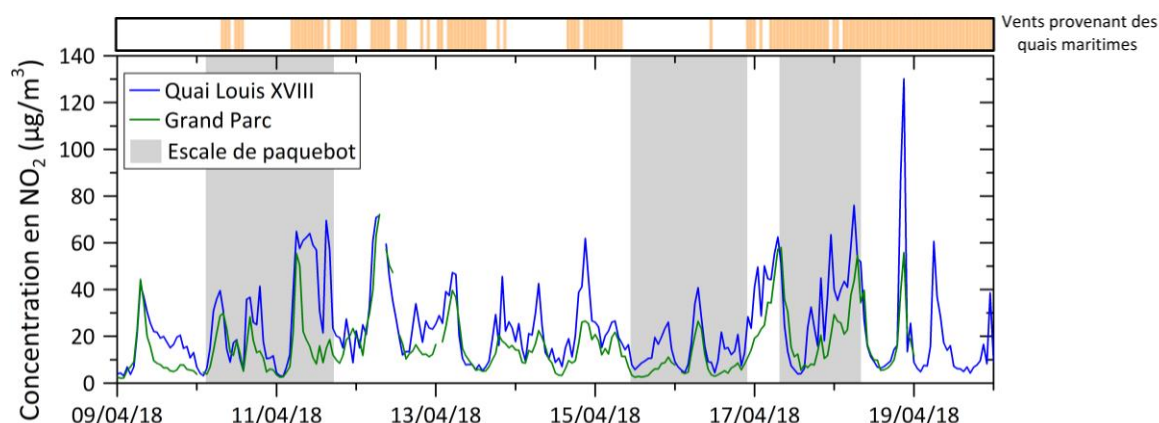


Figure 17 : Évolution temporelle des concentrations horaires en NO_2 sur les sites du laboratoire mobile Quai Louis XVIII et de Grand Parc (station de fond urbain) pour la période du 9 avril au 20 avril 2018 (orange : indication des heures pour lesquelles la direction du vent était comprise entre 15° et 170°)

Les roses de pollution permettent de localiser les différences de concentrations d'un polluant (représentées par l'échelle de couleurs) en fonction de la direction du vent et de la force du vent (cercles).

La Figure 18 permet de mettre en évidence que les plus fortes concentrations en NO_x (NO_2 et NO) ont été observées, sur le Quai Louis XVIII, lors de vents issus d'un secteur nord/nord-est et compris entre 5 et 10 m/s. Ces vents semblent notamment provenir du quai 127. La Figure 18a montre que des concentrations en NO_2 comprises entre 20 et 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ont également été enregistrées par vents faibles (inférieurs à 3 m/s).

En comparaison, les roses de pollution pour le NO_2 et le NO sur le site de fond urbain Grand Parc sont représentées sur la Figure 19. Pour ce site, les plus fortes concentrations en NO_2 et NO , étant inférieures aux plus fortes concentrations du site du laboratoire mobile Quai Louis XVIII, ont été détectées par vents faibles (inférieurs à 3 m/s). Des concentrations en NO_2 comprises entre 10 et 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ont également été observées lors de vents d'un secteur sud et d'un secteur nord-est.

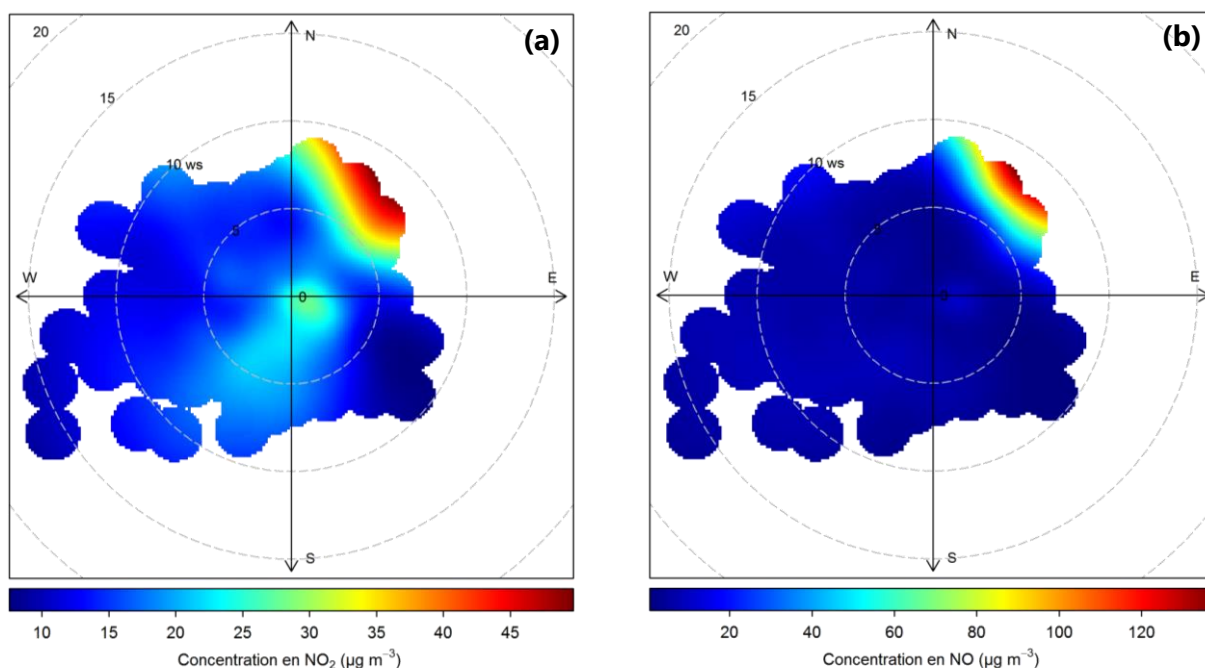


Figure 18 : Rose de pollution sur le site du laboratoire mobile situé Quai Louis XVIII (a) du NO_2 et (b) du NO en moyenne horaire sur toute la durée de la campagne (concentration en fonction de la force et la direction du vent)

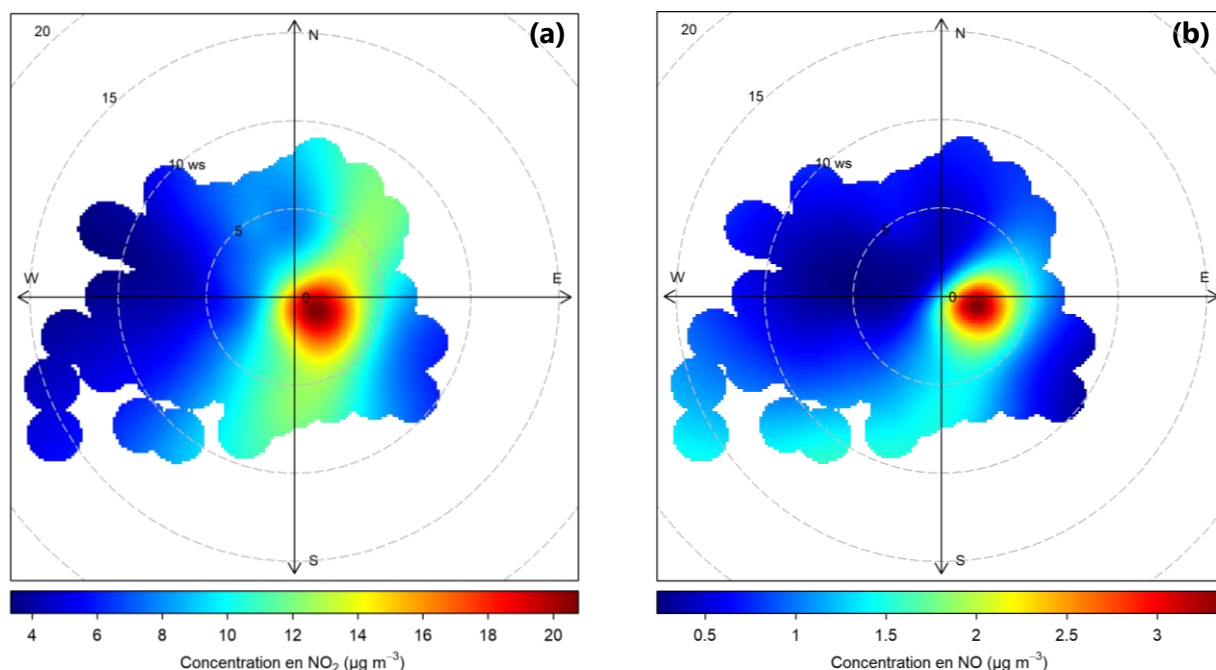
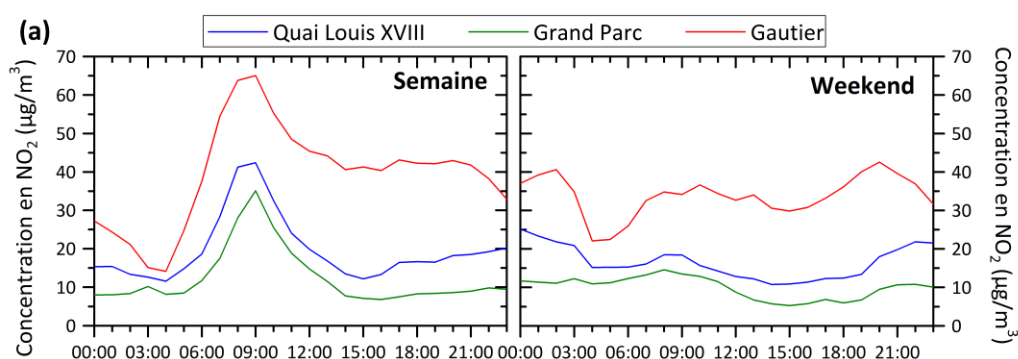


Figure 19 : Rose de pollution sur le site de fond urbain Grand Parc (a) du NO_2 et (b) du NO en moyenne horaire sur toute la durée de la campagne (concentration en fonction de la force et la direction du vent)

Profils journaliers moyens

La Figure 20 présente les profils journaliers moyens des jours de semaines et des jours de weekend sur toute la durée de la campagne (moyenne d'avril et mai 2018). Elle met en évidence des différences de concentrations entre la journée et la nuit et entre les jours de semaine et les jours de weekend. Les profils moyens des jours de semaine sont caractérisés par un pic de concentration dans la matinée (8-9h) (entre 35 et 42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le NO_2 et entre 9 et 27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le NO), profils habituellement rencontrés sur un site avec une influence du trafic routier. Ceci est d'autant plus visible sur les profils journaliers du NO (Figure 20b), gaz primaire issu des phénomènes de combustion à haute température et qui, à température ambiante, réagit avec l'oxygène pour former du NO_2 , polluant secondaire. Le site influencé par le trafic routier Gautier présente les concentrations en NO les plus élevées tandis que le site de fond Grand Parc présente les concentrations les plus faibles. Le laboratoire mobile situé sur le Quai Louis XVIII présente deux pics de NO dont un à 17-18h non visible sur les deux autres sites de Bordeaux (17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Ceci est notamment dû aux fortes concentrations enregistrées le 11 avril au départ d'un paquebot maritime.



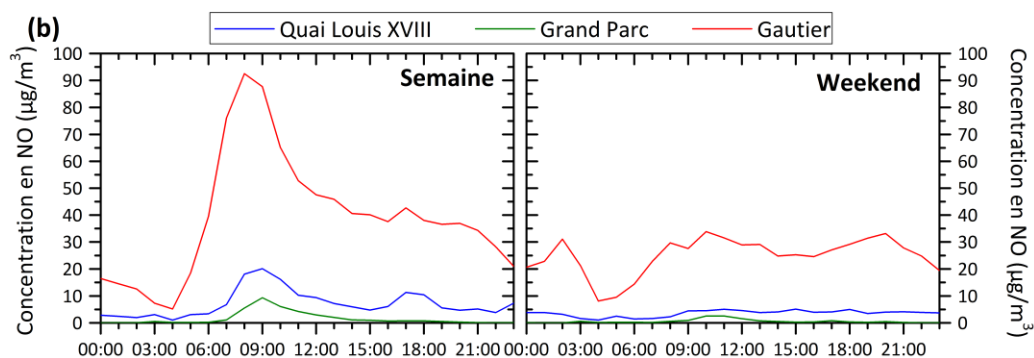


Figure 20 : Profils journaliers moyens des concentrations en (a) NO_2 et (b) NO sur toute la durée de la campagne (avril et mai 2018) lors des jours de semaine et le week-end (heures basées sur l'heure locale)

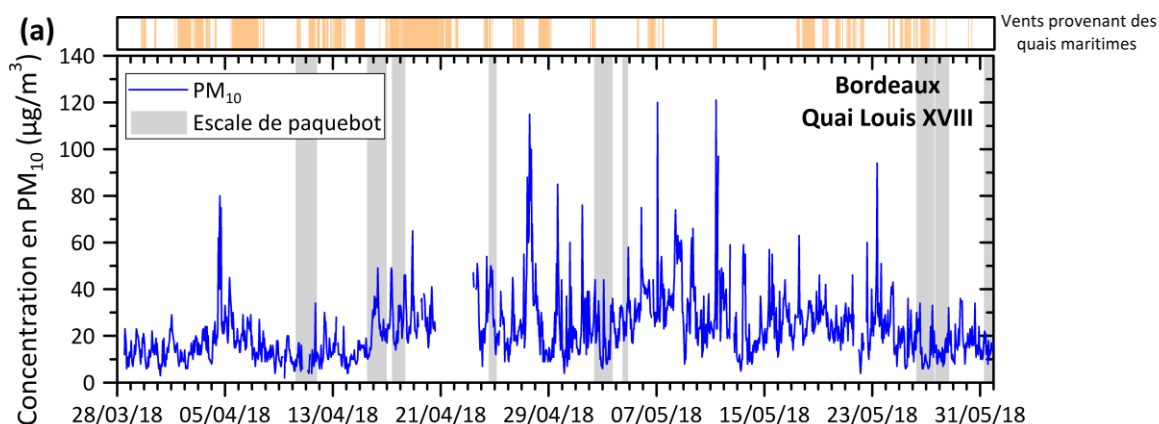


Sur le Quai Louis XVIII, les concentrations en NO_2 sont majoritairement influencées par le trafic routier. L'activité maritime n'influence que très ponctuellement ces concentrations.

5.1.3. Les PM_{10}

La moyenne des concentrations en PM_{10} sur le site du laboratoire mobile situé sur le Quai Louis XVIII a été de $22,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La valeur du seuil réglementaire en moyenne annuelle des PM_{10} est de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et les recommandations de l'OMS sont à $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Les concentrations mesurées sur cette période sont donc légèrement supérieures aux recommandations de l'OMS, de même que sur les autres stations de mesures de Bordeaux. Cependant, les résultats de cette étude, dont les mesures ont couvert une période de deux mois, ne peuvent leur être comparés qu'à titre indicatif.

La Figure 21 montre l'évolution des concentrations en PM_{10} . Comme montré dans les paragraphes précédents, certaines hausses de concentrations sont directement liées aux émissions des paquebots maritimes telles que le 11 avril ou le 17 et 18 avril (Figure 21a et Figure 22). Le 27 avril 2018, la concentration moyenne journalière sur le site du laboratoire mobile sur le Quai Louis XVIII a dépassé le seuil réglementaire de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($52 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (seuil à ne pas dépasser plus de 35 jours par an). La variation des concentrations sur le site du Quai Louis XVIII est semblable à celle de deux stations de Bordeaux (Grand Parc et Gautier) (Figure 21b). Entre le 27 avril et le 14 mai, les concentrations en PM_{10} sur le Quai Louis XVIII ont été plus élevées de $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à plus de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ comparées aux deux autres sites. Cette différence peut s'expliquer par la présence d'une source plus importante sur ce lieu. En effet, la proximité de la place des Quinconces par rapport au laboratoire mobile ainsi qu'un temps relativement sec en cette période (cf. partie 4.) peut entraîner une remise en suspension de poussières crustales. De plus, lors de cette période, les plus fortes chaleurs ont pu engendrer la formation d'algues donc une source biogénique de particules mais également une formation d'aérosols secondaires tels que les sulfates.



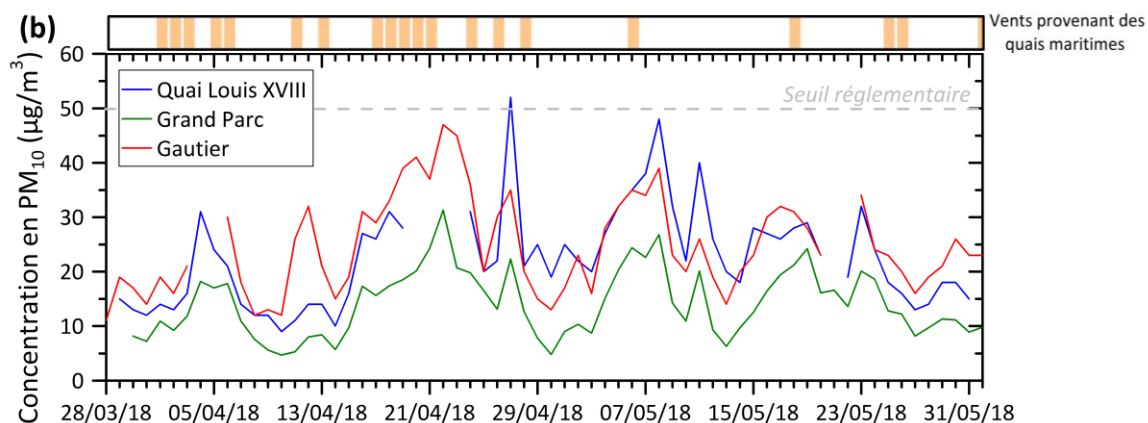


Figure 21 : Évolution temporelle des concentrations en PM₁₀ (a) en moyenne horaire sur le site du laboratoire mobile Quai Louis XVIII et (b) en moyenne journalière sur les sites du laboratoire mobile Quai Louis XVIII et de deux stations de Bordeaux proches de l'étude (Grand Parc et Gautier) (orange : indication des heures pour lesquelles la direction du vent était comprise entre 15° et 170°)

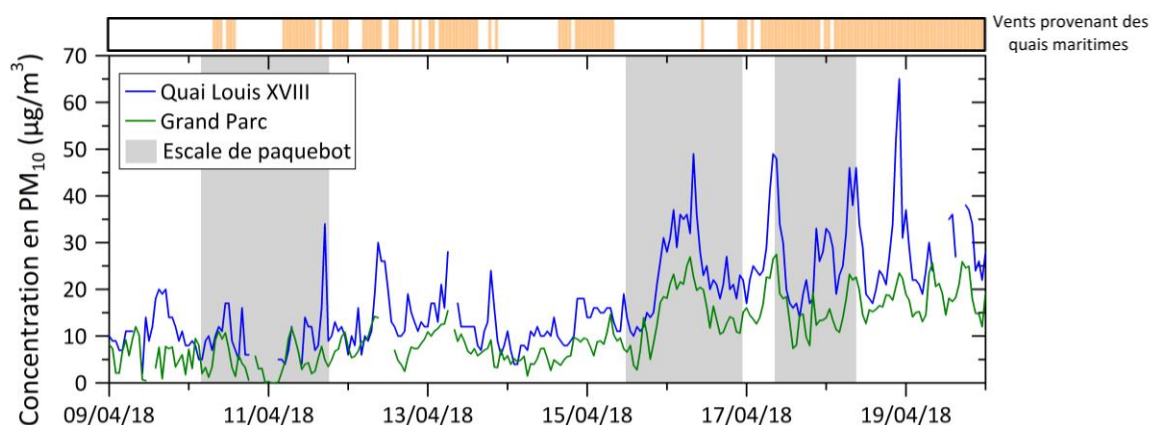


Figure 22 : Évolution temporelle des concentrations horaires en PM₁₀ sur les sites du laboratoire mobile Quai Louis XVIII et de Grand Parc (station de fond urbain) pour la période du 9 avril au 20 avril 2018 (orange : indication des heures pour lesquelles la direction du vent était comprise entre 15° et 170°)

La Figure 23 met en évidence que les plus fortes concentrations en PM₁₀ ont été observées lorsque que les vents étaient issus d'un secteur ouest/sud-ouest et étaient supérieurs à 5 m/s. Ces concentrations étant observées dans une direction complètement différente des fortes concentrations en SO₂ et NO_x, la source majoritaire de PM₁₀ n'est pas le trafic maritime et fluvial mais plutôt les différentes sources urbaines dont la place des Quinconces située à proximité et qui représente une source importante de particules terrigènes.

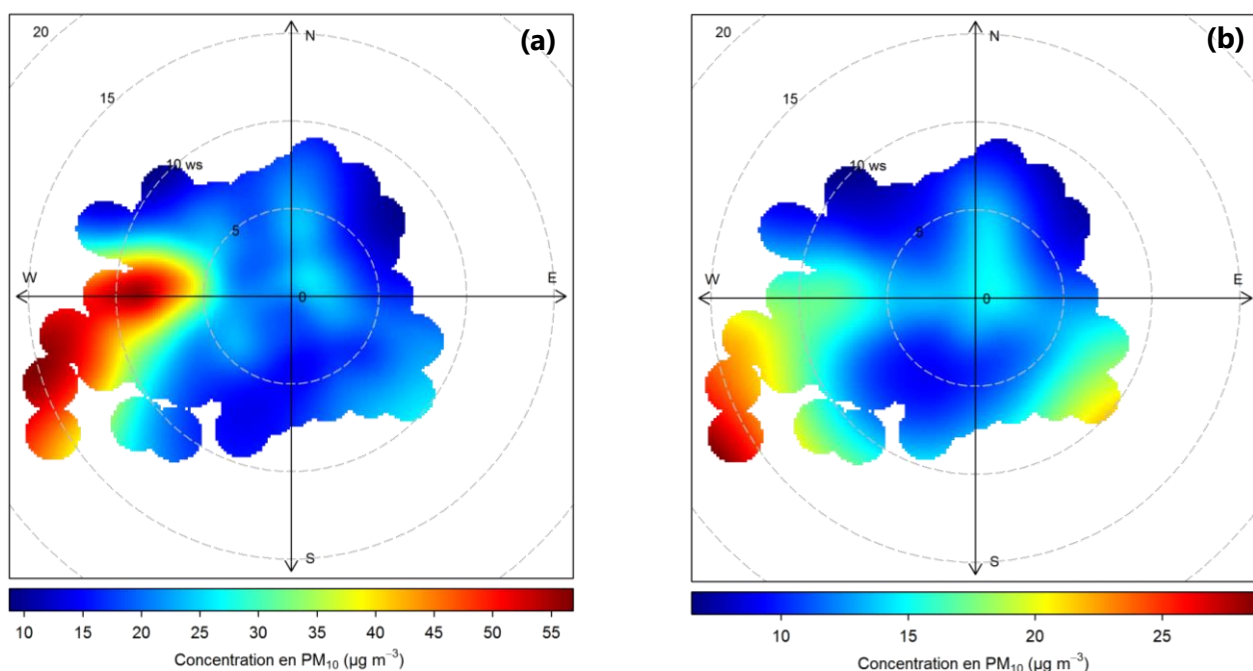


Figure 23 : Rose de pollution des PM_{10} (a) sur le site du laboratoire mobile situé Quai Louis XVIII et (b) sur le site de fond urbain Grand Parc



Sur le Quai Louis XVIII, la source majoritaire de PM_{10} n'est pas le trafic maritime et fluvial mais plus la place des Quinconces située à proximité et qui représente une source importante de particules terrigènes. De plus, les valeurs de PM_{10} sont essentiellement influencées par un fond urbain.

5.1.4. Comparaison avec d'autres études d'impact des émissions du transport maritime en France

Le Tableau 8 présente les concentrations moyennes obtenues lors d'études de la qualité de l'air dans des zones portuaires françaises. Le port de Bordeaux se distingue par de plus faibles concentrations des différents polluants mesurés et notamment en SO_2 . Cette différence s'explique notamment par une différence de taille des ports français où le port de la Lune à Bordeaux est celui accueillant le moins de navires transportant des passagers : 58 mouvements de paquebots maritimes sont prévus sur l'année 2018 au port de Bordeaux contre plus de 25 000 mouvements de paquebots maritimes (voyages en Mer du Nord et en Mer Baltique) et de ferries (trafic transmanche) qui ont eu lieu au port de Calais en 2014.

Une étude est actuellement menée par AtmoSud afin de documenter les niveaux d'exposition des populations riveraines à la pollution liée aux activités du port de Marseille. Cette étude se poursuit jusqu'à fin décembre 2018.

Localisation	Port de la Lune - Bordeaux	Port de Toulon	Port de Nice	Port de Nice	Port de Calais	
Référence	cette étude	Atmo PACA (2007)	Air PACA (2014)	Air PACA (2014)	Atmo Nord-Pas-de-Calais (2015) ; Roche (2016)	unité
Période de mesure	28/03/2018 - 01/06/2018	08/08/2006 - 05/09/2006	01/08/2013 - 07/01/2014	11/07/2014 - 08/08/2014	29/01/2014 - 21/04/2014	
NO	6,2				8,2	µg/m³
NO ₂	19,2	22,1	27	45	22	
SO ₂	0,39	2,4	4	2,4	2,6	
PM ₁₀	22,5	29	25		25,3	
Nombre de mouvements (sur l'année)	58 (2018)	250 (2014)	182 (prévision 2019)		29 002 (2014)	

Tableau 8 : Concentrations moyennes mesurées des polluants étudiés pour différentes études et nombre de mouvements de paquebots dénombrés sur une année complète (2 mouvements = 1 escale)



Près du port de la Lune, les concentrations mesurées sont plus faibles que celles observées dans d'autres ports français tels que Nice, Toulon ou Calais.

5.2. Prélèvements par échantillonnage passif

5.2.1. Vitesse et direction du vent

Les prélèvements par échantillonnage passif se sont déroulés sur huit semaines consécutives du 5 avril au 1^{er} juin 2018 :

- semaine 1 : du 5 au 12 avril,
- semaine 2 : du 12 au 19 avril,
- semaine 3 : du 19 au 26 avril,
- semaine 4 : du 26 avril au 3 mai,
- semaine 5 : du 3 au 11 mai,
- semaine 6 : du 11 au 17 mai,
- semaine 7 : du 17 au 24 mai,
- semaine 8 : du 24 au 31 mai.

Les directions et vitesses de vents pour chacune de ces semaines sont représentées dans la Figure 24. Les trois premières semaines présentent des situations similaires avec des vents dominants issus de l'est/sud-est. La semaine 4, les vents de l'ouest/sud-ouest sont dominants. Les semaines 5 et 6 sont dominées par des vents d'ouest/nord-ouest. La situation de la semaine 7 est différente des autres semaines car les vents majoritaires sont issus d'un secteur nord et n'excèdent pas 5,5 m/s. Enfin, lors de la semaine 8, les vents ont eu des directions très variées.

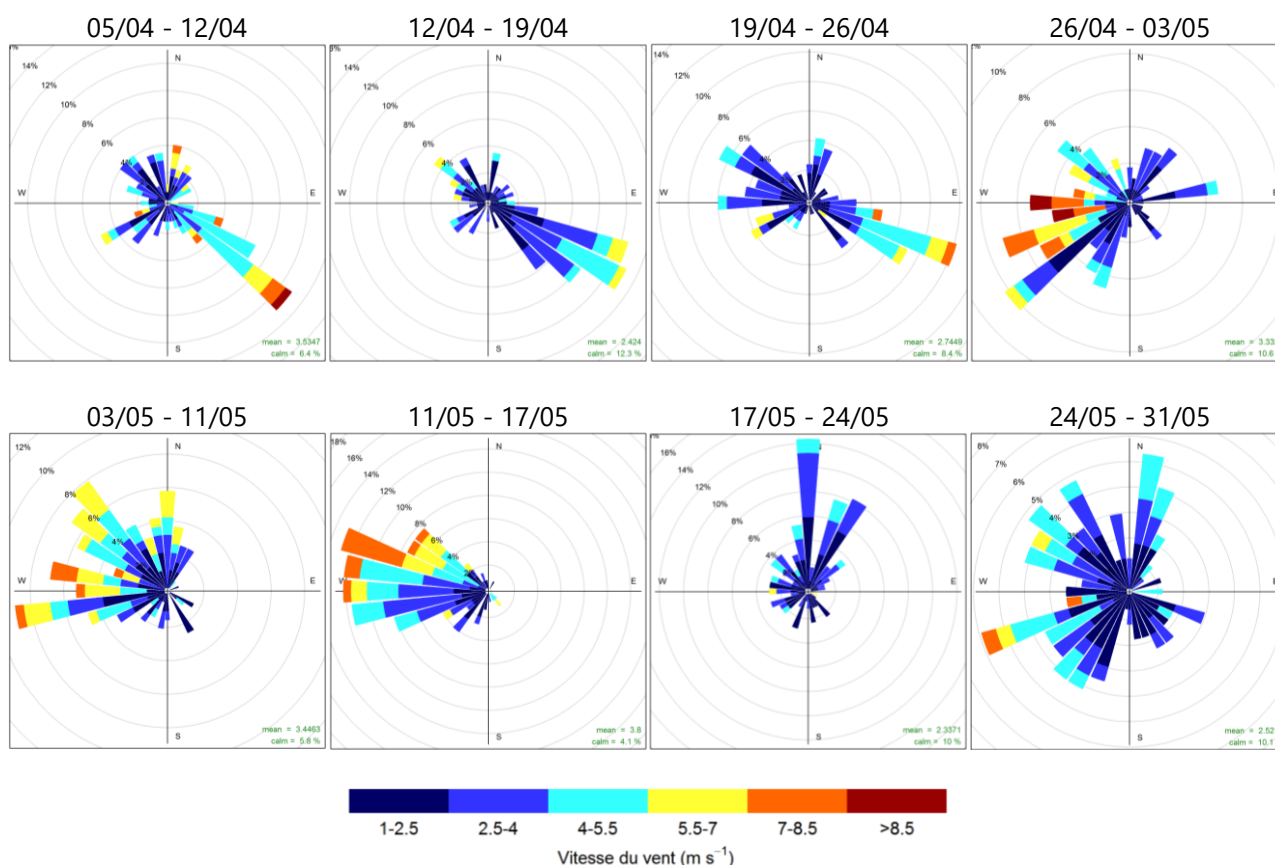


Figure 24 : Roses des vents à Bordeaux - Mérignac (données horaires) pour chaque semaine de prélèvement par échantillonnage passif

5.2.2. Le NO₂

Les concentrations en NO₂ pour l'ensemble des sites lors des huit semaines de prélèvement sont représentées dans la Figure 25. Le détail des concentrations est répertorié en Annexe 3. Le site du Hangar 14 présente les concentrations les plus élevées, notamment la semaine entre le 12 et le 19 avril où les valeurs atteignent 81 µg/m³. La proximité des quais de paquebots fluviaux peut être à l'origine des plus fortes concentrations observées sur le site du Hangar 14. Cependant, la semaine 2 où les concentrations ont été particulièrement élevées sur ce site, se déroulait une manifestation au Hangar 14 pouvant entraîner une circulation importante de véhicules et par conséquent une augmentation des concentrations de ce polluant ; la valeur ne doit donc pas être considérée comme représentative du site.

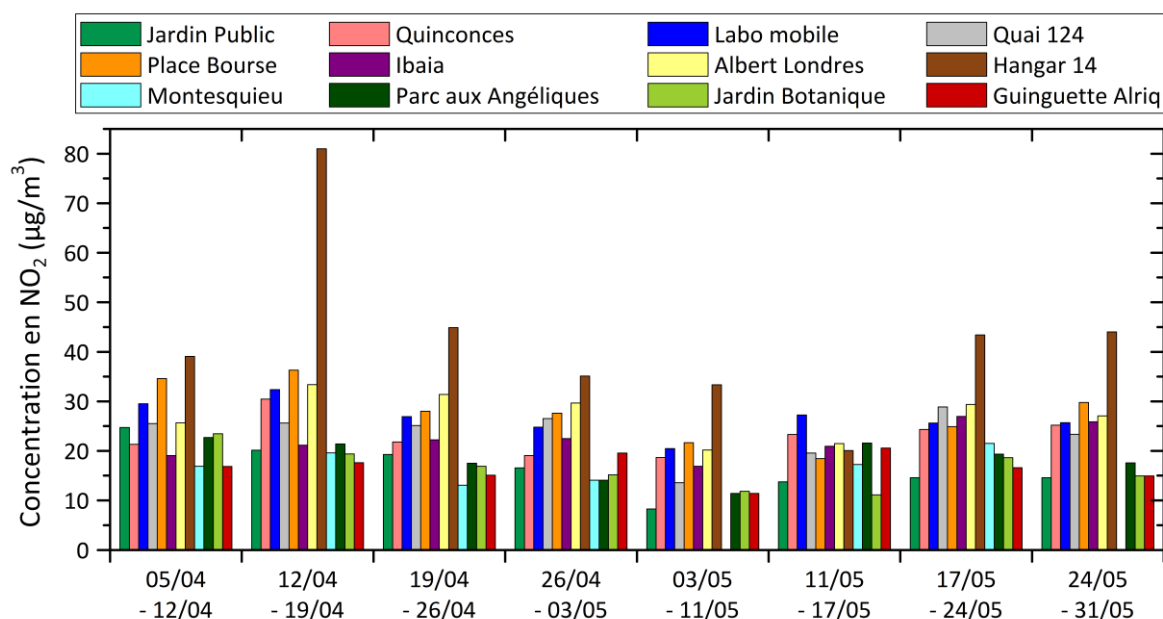


Figure 25 : Concentration en NO₂ pour l'ensemble des sites et pour chaque semaine de prélèvement

Les plus faibles concentrations en NO₂ ont été observées sur la rive droite de la Garonne et sur le site du Jardin Public rive gauche (Figure 26). Ces concentrations s'expliquent par le fait que ces sites sont éloignés des zones de circulation et par conséquent, ne sont pas impactés directement par les NO_x.

La moyenne en NO₂ sur toute la durée de la campagne sur le site du Hangar 14 (42,6 µg/m³) est influencée par la forte concentration de la semaine 2. Cependant, si cette semaine n'est pas prise en compte dans le calcul de la moyenne, ce site reste le site le plus impacté avec une moyenne de 37,1 µg/m³. Ceci montre ainsi l'impact des paquebots fluviaux sur la qualité de l'air aux abords des leurs quais.



Figure 26 : Cartographie des concentrations moyennes en NO₂ (prélèvements hebdomadaires par échantillonnage passif)



Les concentrations en NO₂ sur l'ensemble de la zone d'étude est dominées par l'influence des voies de circulation automobile ainsi que les paquebots fluviaux à quai. En effet, la quantité de paquebots fluviaux à quai a été nettement supérieure à celle des paquebots maritimes (48 escales de paquebots fluviaux et 11 escales de paquebots maritimes sur la période d'avril-mai 2018). De plus, la rive droite de la Garonne n'est pas impactée par les activités maritime et fluviale.

5.2.3. Le SO₂

Les prélèvements par échantillonnage passif du SO₂ ont fait ressortir que très peu de sites ont été impactés par ce polluant. En effet, seulement 17 % des échantillons présentent des résultats supérieurs à la limite de quantification (LQ) qui est de 0,2 µg/m³ (Figure 27 et Annexe 3). De plus, les concentrations maximales n'ont pas dépassées 1 µg/m³. Cette valeur maximale a été enregistrée sur le site du laboratoire mobile la semaine du 5 au 11 mai 2018. Le site d'Albert Londres est le deuxième site le plus impacté avec une concentration maximale atteignant 0,8 µg/m³ la semaine du 11 au 17 mai 2018. Cependant, ces concentrations restent très faibles et ne permettent pas d'informer sur l'origine de ce polluant au moment de sa détection dans l'atmosphère. En effet, la concentration ubiquitaire en SO₂ dans l'air est comprise entre 1 et 5 µg/m³ (INERIS, 2011).

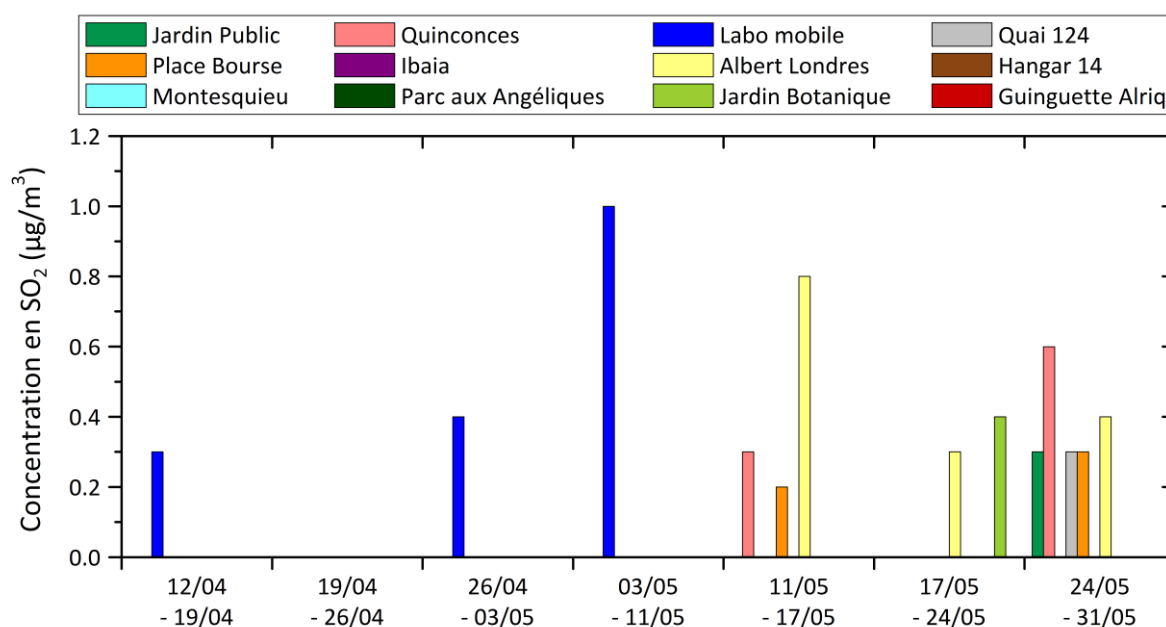


Figure 27 : Concentration en SO₂ pour l'ensemble des sites et pour chaque semaine de prélèvement



Les concentrations en SO₂ sur l'ensemble de la zone d'étude ont été très faibles et ne permettent pas de tirer de conclusion concernant la source de ce polluant.

5.3. Micro-capteurs

L'utilisation de micro-capteurs lors de cette étude constitue une expérimentation. Le but de leur utilisation est d'avoir une représentation spatiale en continu du NO₂ et des PM₁₀ pour mieux appréhender l'exposition des populations. Leur précision et leur mise en œuvre opérationnelle pour la surveillance de l'air ambiant ont été évaluées au cours de cette étude. Le traitement des données brutes des micro-capteurs est détaillé dans un autre document disponible sur notre site www.atmo-nouvelleaquitaine.org à la rubrique « Publications ».

Les résultats des micro-capteurs présentés ici sont exclusivement les données corrigées des paramètres météorologiques et ajustées par rapport aux analyseurs automatiques.

5.3.1. Résultats généraux

Les concentrations moyennes du micro-capteur situé sur le laboratoire mobile Quai Louis XVIII sur la période du 19 avril au 1^{er} juin 2018 ne montrent que très peu de différence avec celles mesurées par l'analyseur automatique situé sur le même emplacement.

Le site le plus impacté par la pollution au dioxyde d'azote est le site de La Fayette, à proximité direct des quais des paquebots fluviaux, présentant des concentrations horaires allant jusqu'à 216 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et une moyenne de 35,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (le micro-capteur a été exposé 25 % du temps aux vents provenant des quais fluviaux (directions de vents comprises entre 50° et 210°)). Au contraire, le micro-capteur situé Quai Louis XVIII est le moins impacté par le NO_2 avec une concentration moyenne de 16,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ce micro-capteur a été exposé 27 % du temps aux vents provenant des quais de paquebots maritimes (directions de vents comprises entre 15° et 170°)). Le micro-capteur situé sur la rive droite de la Garonne (Terrain Foot), et exposé le plus souvent aux vents provenant des quais fluviaux et maritimes (64 % de vents de directions comprises entre 210° et 360°), présente une concentration moyenne intermédiaire de 28,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Cependant, les résultats de ce micro-capteurs ne sont pas aussi représentatifs que ceux placés sur la rive gauche car son taux de fonctionnement n'a été que de 54 % pour le NO_2 et 45 % pour les PM_{10} (cf. partie 3.3., Tableau 7).

Les concentrations en PM_{10} ne sont pas influencées par des sources locales, telles que les paquebots, mais plus par un fond urbain. En effet, les concentrations moyennes mais également les maxima sont du même ordre de grandeur pour les trois sites où les micro-capteurs ont été positionnés.

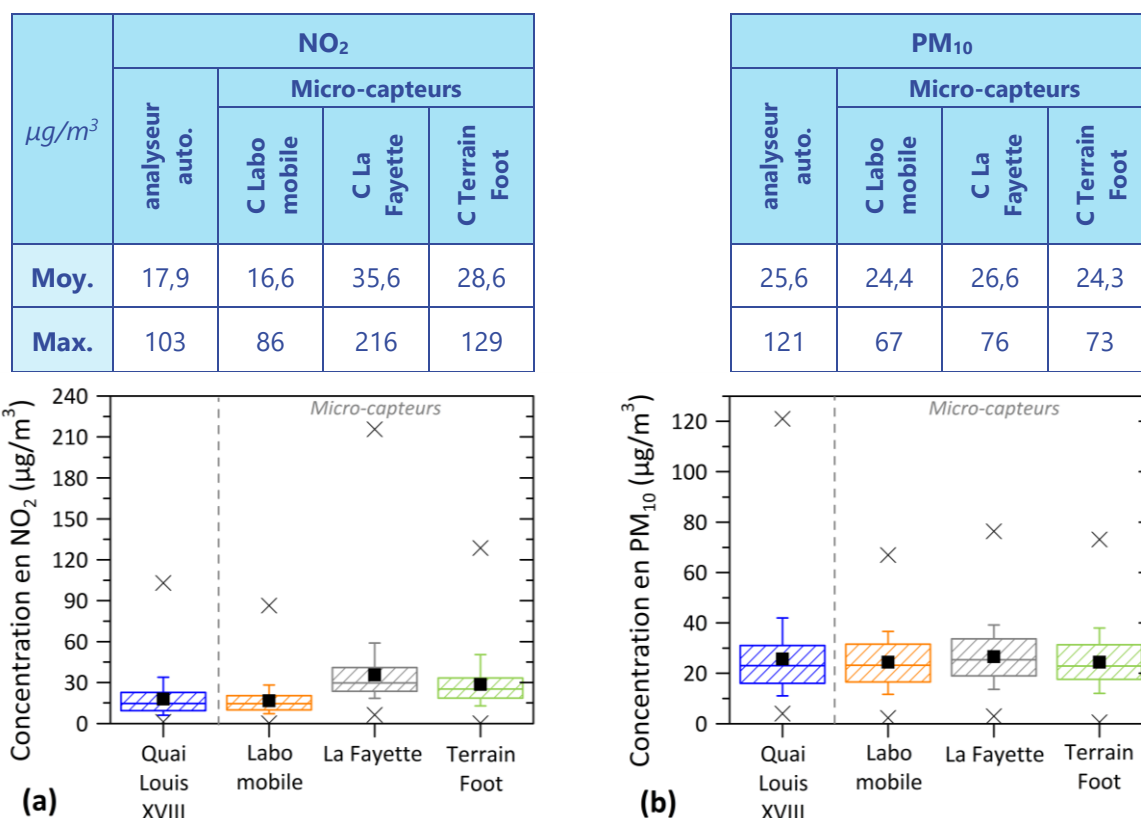


Figure 28 : Concentrations horaires de (a) NO_2 et (b) PM_{10} mesurées par l'analyseur automatique situé dans le laboratoire mobile Quai Louis XVIII et par les trois micro-capteurs sur la période du 19 avril au 1^{er} juin 2018 (explication de la représentation en « boxplot » en Annexe 2) (C = micro-capteur)

5.3.2. Évolutions temporelles

Comme évoqué précédemment, le micro-capteur situé à La Fayette présente les concentrations en NO_2 les plus élevées (Figure 29). La période du 19 avril au 23 avril 2018 a notamment été caractérisée par des concentrations particulièrement élevées pour les trois sites et plus spécifiquement pour le micro-capteur de La Fayette où les concentrations ont dépassées à deux reprises le seuil réglementaire de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire. Ces fortes concentrations peuvent s'expliquer par la provenance du vent : les vents étaient issus d'un large secteur sud-est, provenant des quais des paquebots fluviaux.

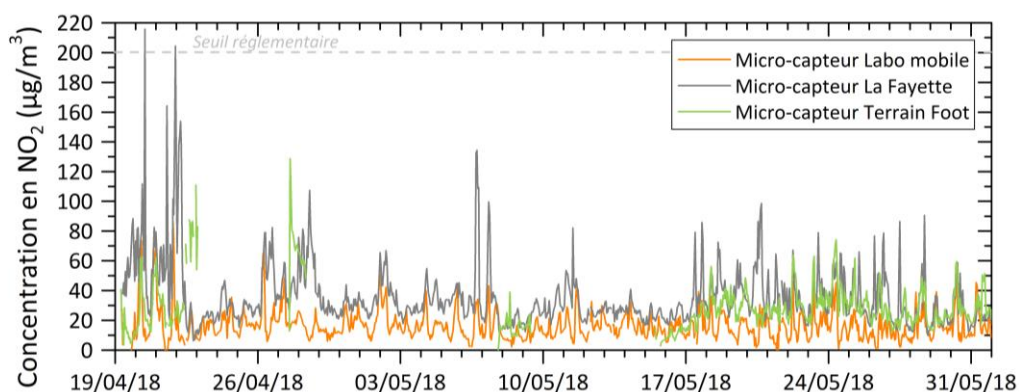


Figure 29 : Évolution temporelle des concentrations horaires en NO_2 mesurées par les trois micro-capteurs

La Figure 30 permet de visualiser l'influence des régimes de vent présents lors des mesures de fortes concentrations en NO_2 pour les trois micro-capteurs. Sur la période du 19 avril au 1^{er} juin 2018, le site du laboratoire mobile, très ouvert, est influencé par des sources situées tout autour et plus particulièrement situées au nord/nord-est de la station. Les concentrations en NO_2 mesurées par les micro-capteurs La Fayette, sur la rive gauche de la Garonne, et Terrain Foot, sur la rive droite, sont influencées essentiellement par des sources présentes sur la Garonne : le trafic fluvial et maritime. Le site de La Fayette est directement influencé par les paquebots fluviaux dont les quais sont à quelques mètres.

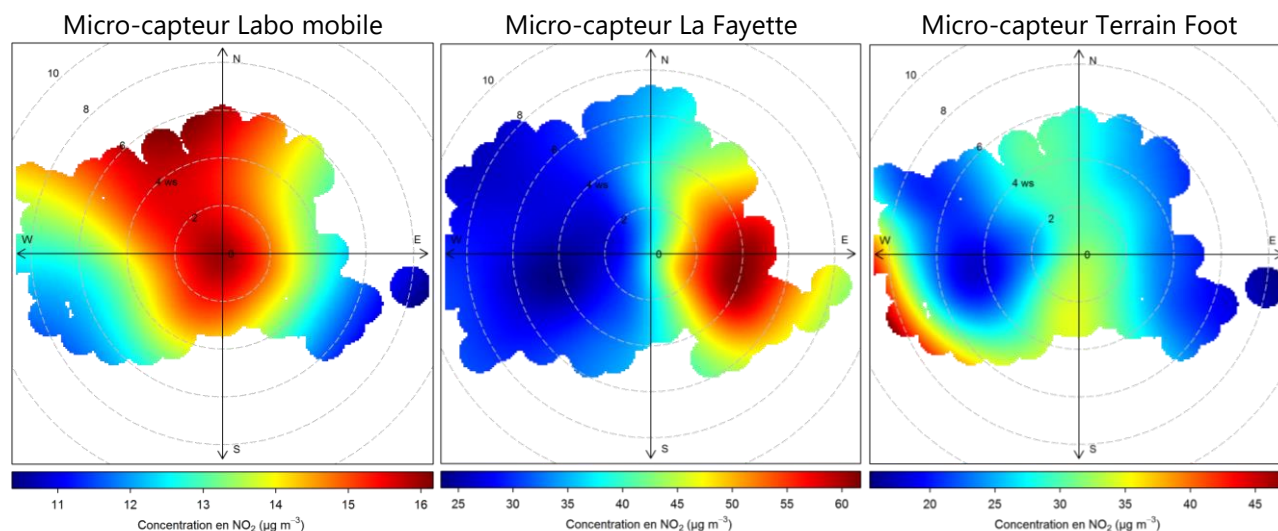


Figure 30 : Roses de pollution du NO_2 en moyenne horaire pour les trois micro-capteurs sur la période du 19 avril au 1^{er} juin 2018 (concentration en fonction de la force et la direction du vent)

Les concentrations en PM_{10} mesurées par les trois micro-capteurs présentent les mêmes évolutions temporelles en moyennes horaires et journalières avec des valeurs extrêmement proches (Figure 31). Contrairement aux concentrations en NO_2 , variant suivant les sites et fortement influencées par le trafic fluvial et maritime, les concentrations en PM_{10} sont essentiellement gouvernées par un fond urbain dont les

sources sont très variées : sources terrigènes, biogéniques, combustion de combustibles fossiles (transport routier, maritimes, fluvial), aérosols secondaires, etc.

De plus, il est à noter que ces résultats PM_{10} donnés par les micro-capteurs constituent une information qualitative et non quantitative du fait de l'incertitude associée.

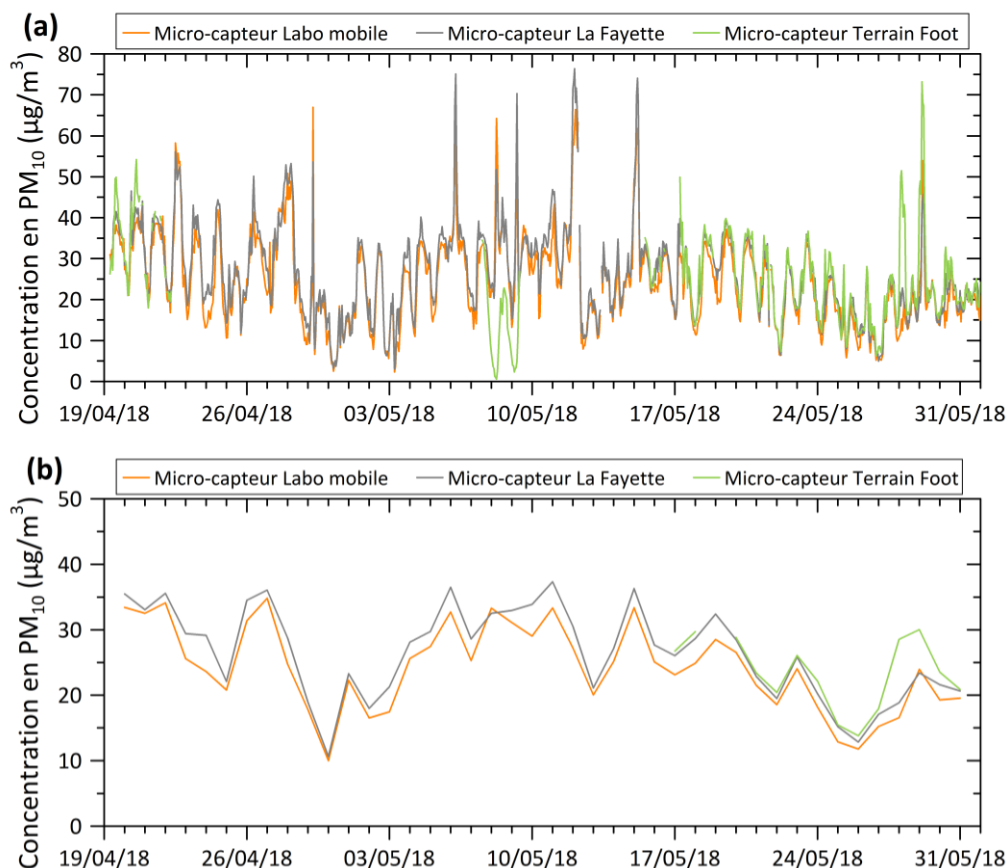


Figure 31 : Évolution temporelle des concentrations (a) horaires et (b) journalières en PM_{10} mesurées par les trois micro-capteurs



Les concentrations en NO_2 obtenues grâce aux micro-capteurs permettent de mettre en évidence que les paquebots fluviaux sont une source importante de ce type de polluant mais que les axes routiers sont également fortement contributeurs. De plus, les PM_{10} sont issues d'un fond urbain et non du trafic maritime et fluvial.

6. Conclusion

Depuis plusieurs années, la qualité de l'air en proximité des zones portuaires est au cœur des préoccupations. En effet, les émissions par le transport maritime ont un impact environnemental certain, avec des effets potentiels sur la santé des populations : près de 70 % des émissions portuaires se retrouvent dans un rayon de 400 km autour des côtes (Eyring et al., 2005).

Cette étude, réalisée sur deux mois (avril et mai 2018), en période de forte affluence des paquebots maritimes au port de la Lune à Bordeaux, avait pour but de documenter les niveaux d'exposition des populations riveraines à la pollution liée aux activités du port.

Différentes techniques de mesure ont été utilisées pour mener à bien cette étude :

- mesures en continu en un point sur le Quai Louis XVIII, rive gauche de la Garonne, des particules en suspension (PM_{10}), oxydes d'azote (NO_x) et dioxyde de soufre (SO_2),
- mesures des concentrations hebdomadaires de dioxyde d'azote (NO_2) et SO_2 autour du port maritime (rive gauche et rive droite de la Garonne) au moyen d'échantillonneurs passifs,
- expérimentation de mesures avec trois micro-capteurs pour suivre en continu les niveaux de NO_2 et PM_{10} .

Dans le port de Bordeaux, la principale source directe de SO_2 est le trafic maritime. Cependant, les concentrations demeurent très faibles ($0,39 \mu g/m^3$ en moyenne sur les mois d'avril et mai 2018). Les rares augmentations des concentrations en SO_2 ont été notamment observées lors d'une arrivée à quai d'un paquebot maritimes ou lors de son départ lorsque les vents provenaient d'un secteur nord/nord-est, position des paquebots maritimes par rapport à la station de mesure. Le maximum a atteint $146 \mu g/m^3$ en moyenne horaire, loin du seuil de la valeur limite réglementaire fixé à $350 \mu g/m^3$ en moyenne horaire. De plus, ce composé a été détecté quasi-exclusivement sur la rive gauche de la Garonne.

Il en est de même pour les concentrations en NO_x où certains pics ponctuels de concentrations ont été observés lors de la présence d'un paquebot maritime à quai et lorsque les vents étaient issus du même secteur nord/nord-est. Cependant, l'influence du trafic routier est majoritaire sur le Quai Louis XVIII car les concentrations sont fortement comparables aux concentrations enregistrées sur le site de fond urbain Grand Parc. De plus, aucun dépassement du seuil réglementaire de $200 \mu g/m^3$ de NO_2 en moyenne horaire n'a été observé sur le Quai Louis XVIII (maximum de NO_2 observé à $130 \mu g/m^3$ en moyenne horaire).

Les plus fortes concentrations en PM_{10} ont été observées lorsque que les vents étaient issus d'un secteur ouest/sud-ouest, ainsi la source majoritaire de PM_{10} Quai Louis XVIII n'est pas le trafic maritime et fluvial mais plutôt la place des Quinconces située à proximité et qui représente une source importante de particules terrigènes. En effet, lors de la journée du 27 avril 2018, dominée par des vents de secteur sud-ouest et donc lorsque la station de mesure n'était pas sous les vents des quais, la concentration moyenne journalière sur le site du laboratoire mobile sur le Quai Louis XVIII a dépassé le seuil réglementaire de $50 \mu g/m^3$ ($52 \mu g/m^3$). De plus, la variation des concentrations sur le site du Quai Louis XVIII étant semblable à celle de deux stations de Bordeaux, les valeurs de PM_{10} sont essentiellement influencées par un fond urbain.

En complément des mesures réalisées sur le Quai Louis XVIII grâce aux analyseurs automatiques, des mesures par échantillonnage passif et micro-capteurs ont permis de se rendre compte des concentrations en SO_2 , NO_2 et PM_{10} autour du port maritime (rive gauche et rive droite de la Garonne). Si les concentrations en SO_2 ont été très faibles dont beaucoup de prélèvements ont été inférieurs à la limite de quantification, les mesures de NO_2 ont permis de mettre en évidence que les sites les plus impactés se situent le long des axes routiers mais également à proximité des quais des paquebots fluviaux. Le site du Hangar 14 présente la concentration moyenne sur les mois d'avril et mai 2018 la plus élevée, notamment due à une semaine où la concentration a été particulièrement élevée certainement du fait d'une manifestation où la circulation automobile fut importante. Les concentrations observées par micro-capteur sur le site de La Fayette ont

dépassées à deux reprises le seuil réglementaire de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire (seuil à ne pas dépasser plus de 18 heures par an). La cartographie des concentrations en NO_2 obtenues par échantillonnages passifs et micro-capteurs permet de confirmer la source majoritaire de ce polluant : le trafic routier. De plus, les concentrations en PM_{10} étant semblables pour les différents sites étudiés, celles-ci ne sont pas influencées par des sources locales, telles que les paquebots, mais plus par un fond urbain.

Finalement, les micro-capteurs ont été utilisés sur la base d'une expérimentation. Leurs données ont été corrigées par rapport à des facteurs météorologiques et par rapport aux analyseurs automatiques permettant d'améliorer les données brutes, elles sont alors relativement incertaines en comparaison des analyseurs automatiques, notamment en ce qui concerne les concentrations en PM_{10} . Cependant, les mesures présentent une forte répétabilité entre les trois micro-capteurs, ce qui permet une comparaison entre les différents sites. D'autres études sur les micro-capteurs vont être réalisées afin d'affiner la mesure des concentrations et la fiabilité des résultats obtenus.

Deux mois de mesures autour du port de la Lune à Bordeaux (avril-mai 2018) ont permis de montrer que :

- ✓ **l'impact des paquebots maritimes est faible sur la pollution de l'air dans les quartiers aux abords du port,**
- ✓ **les diverses émissions urbaines, dont le trafic routier, sont les principales responsables de la pollution,**
- ✓ **la rive droite de la Garonne n'est pas impactée par les activités fluviale et maritime,**
- ✓ **les paquebots fluviaux représentent une source supplémentaire d'oxydes d'azote aux abords de leurs quais.**

Table des figures

Figure 1 : Localisation des différents ports du GPMB.....	6
Figure 2 : Localisation des quais de paquebots maritimes et fluviaux.....	6
Figure 3 : Bordeaux - Répartition des émissions de NO _x par secteur.....	10
Figure 4 : Bordeaux - NO _x , émissions du secteur des transports, en tonnes.....	10
Figure 5 : Bordeaux - Répartition des émissions de SO ₂ par secteur.....	11
Figure 6 : Bordeaux - SO ₂ , émissions du secteur des transports, en tonnes.....	11
Figure 7 : Bordeaux - Répartition des émissions de PM ₁₀ par secteur.....	12
Figure 8 : Bordeaux - PM ₁₀ , émissions du secteur des transports, en tonnes.....	12
Figure 9 : Localisation des points de mesure.....	13
Figure 10 : Planification des mesures.....	18
Figure 11 : Rose des vents à Bordeaux - Mérignac (données horaires).....	20
Figure 12 : Pluviométrie et températures minimale et maximale enregistrées à Bordeaux - Mérignac lors de la campagne (données journalières).....	20
Figure 13 : Concentrations horaires de NO ₂ , NO, PM ₁₀ et SO ₂ sur les sites du laboratoire mobile Quai Louis XVIII, de deux stations de Bordeaux proches de l'étude (Grand Parc et Gautier) et de la station Bordeaux-Bassens (sous influence urbaine et industrielle) pour toute la durée de la campagne (explication de la représentation en « boxplot » en Annexe 2).....	21
Figure 14 : Comparatif des concentrations moyennes en SO ₂ sur le site du laboratoire mobile Quai Louis XVIII et de quatre autres stations de la région Nouvelle-Aquitaine d'influence urbaine et industrielle.....	22
Figure 15 : Évolution temporelle des concentrations horaires en SO ₂ sur le site du laboratoire mobile Quai Louis XVIII et zoom sur la période du 10 au 12 avril 2018 (orange : indication des heures pour lesquelles la direction du vent était comprise entre 15° et 170°).....	22
Figure 16 : Évolution temporelle des concentrations horaires en (a) NO ₂ et (b) NO sur le site du laboratoire mobile Quai Louis XVIII (orange : indication des heures pour lesquelles la direction du vent était comprise entre 15° et 170°).....	23
Figure 17 : Évolution temporelle des concentrations horaires en NO ₂ sur les sites du laboratoire mobile Quai Louis XVIII et de Grand Parc (station de fond urbain) pour la période du 9 avril au 20 avril 2018 (orange : indication des heures pour lesquelles la direction du vent était comprise entre 15° et 170°).....	24
Figure 18 : Rose de pollution sur le site du laboratoire mobile situé Quai Louis XVIII (a) du NO ₂ et (b) du NO en moyenne horaire sur toute la durée de la campagne (concentration en fonction de la force et la direction du vent).....	24
Figure 19 : Rose de pollution sur le site de fond urbain Grand Parc (a) du NO ₂ et (b) du NO en moyenne horaire sur toute la durée de la campagne (concentration en fonction de la force et la direction du vent).....	25
Figure 20 : Profils journaliers moyens des concentrations en (a) NO ₂ et (b) NO sur toute la durée de la campagne (avril et mai 2018) lors des jours de semaine et le week-end (heures basées sur l'heure locale).....	26
Figure 21 : Évolution temporelle des concentrations en PM ₁₀ (a) en moyenne horaire sur le site du laboratoire mobile Quai Louis XVIII et (b) en moyenne journalière sur les sites du laboratoire mobile Quai Louis XVIII et de deux stations de Bordeaux proches de l'étude (Grand Parc et Gautier) (orange : indication des heures pour lesquelles la direction du vent était comprise entre 15° et 170°).....	27
Figure 22 : Évolution temporelle des concentrations horaires en PM ₁₀ sur les sites du laboratoire mobile Quai Louis XVIII et de Grand Parc (station de fond urbain) pour la période du 9 avril au 20 avril 2018 (orange : indication des heures pour lesquelles la direction du vent était comprise entre 15° et 170°).....	27
Figure 23 : Rose de pollution des PM ₁₀ (a) sur le site du laboratoire mobile situé Quai Louis XVIII et (b) sur le site de fond urbain Grand Parc.....	28
Figure 24 : Roses des vents à Bordeaux - Mérignac (données horaires) pour chaque semaine de prélèvement par échantillonnage passif.....	30
Figure 25 : Concentration en NO ₂ pour l'ensemble des sites et pour chaque semaine de prélèvement.....	31
Figure 26 : Cartographie des concentrations moyennes en NO ₂ (prélèvements hebdomadaires par échantillonnage passif).....	31

Figure 27 : Concentration en SO ₂ pour l'ensemble des sites et pour chaque semaine de prélèvement	32
Figure 28 : Concentrations horaires de (a) NO ₂ et (b) PM ₁₀ mesurées par l'analyseur automatique situé dans le laboratoire mobile Quai Louis XVIII et par les trois micro-capteurs sur la période du 19 avril au 1 ^{er} juin 2018 (explication de la représentation en « boxplot » en Annexe 2) (C = micro-capteur).....	33
Figure 29 : Évolution temporelle des concentrations horaires en NO ₂ mesurées par les trois micro-capteurs	34
Figure 30 : Roses de pollution du NO ₂ en moyenne horaire pour les trois micro-capteurs sur la période du 19 avril au 1 ^{er} juin 2018 (concentration en fonction de la force et la direction du vent)	34
Figure 31 : Évolution temporelle des concentrations (a) horaires et (b) journalières en PM ₁₀ mesurées par les trois micro-capteurs	35
Figure 32 : Schéma explicatif du diagramme en boîte	42

Table des tableaux

Tableau 1 : Nombre d'escales enregistrées en avril et mai 2018	6
Tableau 2 : Émissions du trafic maritime 2014 sur le Grand Port Maritime de Bordeaux (GPMB)	9
Tableau 3 : Polluants investigués sur chaque site de mesure.....	14
Tableau 4 : Réglementation européenne pour les PM ₁₀	15
Tableau 5 : Réglementation européenne pour le NO ₂	16
Tableau 6 : Réglementation européenne pour le SO ₂	17
Tableau 7 : Taux de fonctionnement des différents dispositifs de mesure utilisés dans le cadre de cette campagne pour chaque site.....	19
Tableau 8 : Concentrations moyennes mesurées des polluants étudiés pour différentes études et nombre de mouvements de paquebots dénombrés sur une année complète (2 mouvements = 1 escale)	29
Tableau 9 : Concentration en NO ₂ pour l'ensemble des sites et pour chaque semaine de prélèvement	43
Tableau 10 : Concentration en SO ₂ pour l'ensemble des sites et pour chaque semaine de prélèvement (LQ = 0,2 µg/m ³).....	43

Annexes

ANNEXE 1 : Bibliographie

- Air PACA, 2014. Évaluation de la qualité de l'air dans le quartier du port, Nice.
- Atmo Nord-Pas-de-Calais, 2015. Projet ECUME - Evaluation de la Contribution des sources Maritimes à la teneur en PM10 sur le littoral de la région Nord-Pas-de-Calais.
- Atmo PACA, 2007. Projet SIMPYC - Qualité de l'air comparée entre les villes de Toulon et de la Seyne-sur-Mer et leurs ports.
- EEA, 2013. The impact of international shipping on European air quality and climate forcing (Technical report No. 4/2013). European Environmental Agency.
- Eyring, V., Köhler, H.W., Van Aardenne, J., Lauer, A., 2005. Emissions from international shipping: 1. The last 50 years. J. Geophys. Res. Atmospheres 110.
- IMO, 2017. MARPOL Annex VI - Prevention of Air Pollution from Ships [WWW Document]. URL <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Air-Pollution.aspx> (accessed 9.25.17).
- INERIS, 2011. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques - Dioxyde de soufre (SO2).
- Roche, C., 2016. Etude des concentrations et de la composition des PM10 sur le littoral du nord de la France - Evaluation des contributions maritimes de l'espace Manche-Mer du Nord (Thèse). Université du Littoral Côte d'Opale.

ANNEXE 2 : Représentation statistique des données à l'aide de « boxplot »

Le diagramme en boîte, ou « boxplot » en anglais, est la représentation statistique d'une série de données d'observation. Cet outil graphique permet la représentation des informations de dispersion de la série de données étudiée : moyenne, médiane, valeurs extrêmes, premier et troisième quartile.

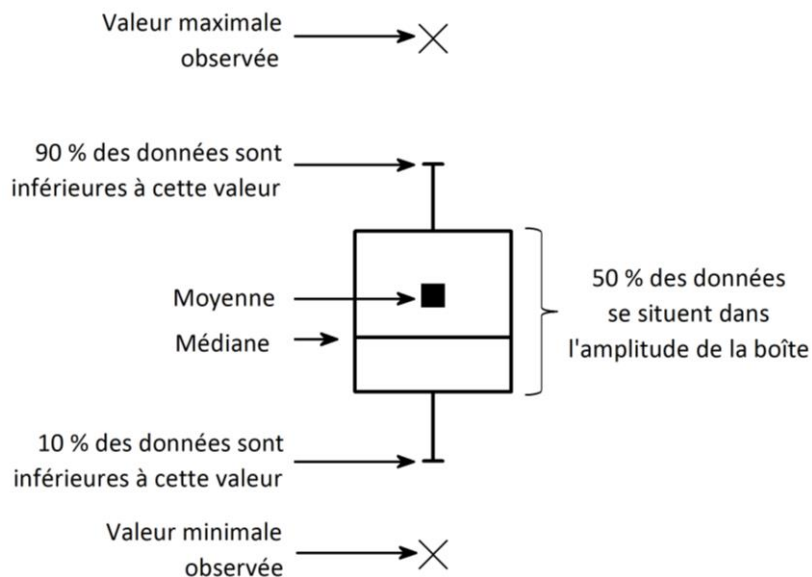


Figure 32 : Schéma explicatif du diagramme en boîte

ANNEXE 3 : Résultats des prélèvements par échantillonnage passif

Dioxyde d'azote (NO₂)

$\mu\text{g}/\text{m}^3$	05/04 - 12/04	12/04 - 19/04	19/04 - 26/04	26/04 - 03/05	03/05 - 11/05	11/05 - 17/05	17/05 - 24/05	24/05 - 31/05
Blanc terrain 1	0,6	0,7	3,3	3,9	1,5	1,7	3,4	0,8
Blanc terrain 2	-	0,5	2,4	3,2	3,6	3,9	3,6	0,4
Jardin Public	24,7	20,1	19,3	16,6	8,2	13,7	14,6	14,6
Quinconces	21,3	30,5	21,8	19,1	18,7	23,3	24,3	25,2
Labo mobile	29,5	32,4	26,9	24,8	20,5	27,3	25,6	25,7
Quai 124	25,5	25,6	25,1	26,5	13,6	19,6	28,9	23,3
Place Bourse	34,6	36,3	28,0	27,6	21,6	18,4	24,9	29,8
Ibaia	19,1	21,1	22,2	22,5	16,9	20,9	27,0	25,9
Albert Londres	25,7	33,4	31,4	29,7	20,2	21,5	29,4	27,1
Hangar 14	39,1	81,0	44,9	35,1	33,3	20,1	43,4	44,0
Montesquieu	16,9	19,6	13,1	14,1	-	17,3	21,5	-
Parc aux Angéliques	22,7	21,4	17,5	14,1	11,4	21,6	19,3	17,6
Jardin Botanique	23,5	19,4	16,9	15,2	11,8	11,1	18,6	14,9
Guinguette Alriq	16,9	17,6	15,1	19,6	11,4	20,6	16,6	14,9

Tableau 9 : Concentration en NO₂ pour l'ensemble des sites et pour chaque semaine de prélèvement

Dioxyde de soufre (SO₂)

$\mu\text{g}/\text{m}^3$	12/04 - 19/04	19/04 - 26/04	26/04 - 03/05	03/05 - 11/05	11/05 - 17/05	17/05 - 24/05	24/05 - 31/05
Jardin Public	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,3
Quinconces	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,3	< LQ	0,6
Labo mobile	0,3	< LQ	0,4	1	-	< LQ	-
Quai 124	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,3
Place Bourse	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,2	< LQ	0,3
Ibaia	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
Albert Londres	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,8	0,3	0,4
Hangar 14	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
Montesquieu	-	< LQ	< LQ	-	-	< LQ	-
Parc aux Angéliques	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	-	-
Jardin Botanique	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	0,4	< LQ
Guinguette Alriq	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ

Tableau 10 : Concentration en SO₂ pour l'ensemble des sites et pour chaque semaine de prélèvement (LQ = 0,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



RETROUVEZ TOUTES
NOS **PUBLICATIONS** SUR :
www.atmo-nouvelleaquitaine.org

Contacts

contact@atmo-na.org
Tél. : 09 84 200 100

Pôle Bordeaux (siège Social) - ZA Chemin Long
13 allée James Watt - 33 692 Mérignac Cedex

Pôle La Rochelle (adresse postale-facturation)
ZI Périgny/La Rochelle - 12 rue Augustin Fresnel
17 180 Périgny

Pôle Limoges
Parc Ester Technopole - 35 rue Soyouz
87 068 Limoges Cedex

