



Port de Brest (29)

Campagnes de mesure de la qualité de l'air dans le port et ses environs

Version du 17/01/24

Etude réalisée par Air Breizh
À la demande de Brest Métropole



Avertissements

Les informations contenues dans ce rapport traduisent la mesure d'un ensemble d'éléments à un instant et un lieu donné, caractérisé par des conditions climatiques propres.

Air Breizh ne saurait être tenu pour responsable des événements pouvant résulter de l'interprétation et/ou de l'utilisation des informations faites par un tiers.

Conditions de diffusion

Air Breizh est l'organisme agréé de surveillance de la qualité de l'air dans la région Bretagne, au titre de l'article L221-3 du Code de l'environnement, précisé par l'arrêté du 13 juin 2022 pris par le Ministère de l'Environnement portant renouvellement de l'agrément de l'association.

À ce titre et compte tenu de ses statuts, Air Breizh est garant de la transparence de l'information sur les résultats des mesures et les rapports d'études produits selon les règles suivantes :

Air Breizh réserve un droit d'accès au public à l'ensemble des résultats de mesures et rapports d'études selon plusieurs modalités : document papier, mise en ligne sur son site internet www.airbreizh.asso.fr, résumé dans ses publications, ...

Toute utilisation de ce rapport et/ou de ces données doit faire référence à Air Breizh.

Air Breizh ne peut, en aucune façon, être tenu responsable des interprétations et travaux utilisant ses mesures et ses rapports d'études pour lesquels Air Breizh n'aura pas donné d'accord préalable.

Organisation interne – contrôle qualité

Projet :	Campagne de mesure de la qualité de l'air dans le port de Brest et ses environs		
Version (date)	Modifications	Auteur	Validation
<i>Version du 17/01/24</i>	Création	F. Moreau (ingénieur d'études)	O. Cesbron (Ingénieur d'études) O. Le Bihan (Responsable du service études) G. Lefeuvre (Directeur)

Relecture externe

C. LOHOU
(Chargée d'études environnement - Direction de l'écologie urbaine Brest Métropole)

Table des matières

Avertissements	2
Conditions de diffusion	2
Organisation interne – contrôle qualité	2
Relecture externe.....	2
I. Introduction	9
II. Présentation de la zone d'étude.....	10
II1. La ville de Brest	10
II2. Le port de Brest.....	11
II3. Description de la zone d'étude	12
III. Matériel et méthode.....	15
III1. Présentation des polluants étudiés	15
III2. Technique de mesure	16
III3. Présentation du plan d'échantillonnage.....	16
III4. Influence de l'activité du port sur les sites de mesure	18
III5. Dates des campagnes de mesure	23
III6. Réglementation.....	23
IV. Contexte des mesures.....	25
IV1. Conditions météorologiques.....	25
IV2. Représentativité de l'activité du port pendant les campagnes de mesure.....	29
V. Résultats et interprétation.....	33
V1. Seuils de référence.....	33
V2. Contrôle qualité des résultats.....	33
V3. Résultats des mesures en dioxydes d'azote (NO ₂)	36
V4. Résultats des mesures en COVNM	46
V5. Résultats des mesures en métaux lourds (ML).....	48
V6. Résultats des mesures en dioxyde de soufre (SO ₂)	49
V7. Résultats des mesures en particules sédimentables.....	53
V8. Résultats des mesures en particules fines (PM ₁₀).....	56
VI. Résultats de l'analyse de la spéciation des particules	62
VI1. Protocole de sélection des filtres	62
VI2. Résultats des mesures de la campagne hivernale.....	64
VI3. Résultats des mesures de la campagne estivale.....	69

VII.	Synthèse des résultats de l'étude	75
VIII.	Conclusion	79
IX.	Evolutions réglementaires à venir	81
	Annexes	83
	ANNEXE 1 : Présentation d'Air Breizh	84
	ANNEXE 2: Photo et emplacement des sites de mesure	86
	ANNEXE 3: Lecture des roses de pollution	92
	ANNEXE 4 : Résultats des mesures passives en NO ₂ et SO ₂	93
	ANNEXE 5 : Sélection des filtres pour la spéciation chimique	94

Index des Figures

Figure 1 : Découpage de la ville de Brest	10
Figure 2 : Localisation des installations portuaires.....	11
Figure 3 : Délimitation de la zone d'étude [Géoportail].....	12
Figure 4 : Plan d'échantillonnage	17
Figure 5 : Organisation des espaces portuaires à Brest et localisation des points de mesure.	18
Figure 6 : ICPE et IREP sur la zone portuaire (Géorisques)	20
Figure 7 : ICPE et IREP de la zone industrielle du port de Brest (Géorisques).....	20
Figure 8 : Carte du TMJA (2020) sur la zone d'étude.....	21
Figure 9 : Comparaison des conditions de vents pendant la campagne hivernale aux normales mensuelles (janvier).....	26
Figure 10 : Comparaison des conditions de vents pendant la campagne estivale aux normales mensuelles (juin)	26
Figure 11 : Evolution des températures et des cumuls de précipitations (moyenne journalière), campagne hivernale (gauche) et estivale (droite).....	28
Figure 12 : Heure de fonctionnement des grues en moyenne mensuelle pour 2021, 2022 et 2023 [Données CCI].	29
Figure 13 : Synthèse du transit (import et export) sur la zone portuaire (comparaison 2022 et 2023) [données CCI].....	30
Figure 14 : Evolution du fonctionnement de l'usine (trituration en tonnes) – période de mesure hivernale [Données Bunge]	31
Figure 15 : Evolution du fonctionnement de l'usine (trituration en tonnes) – période de mesure estivale [Données Bunge]	31
Figure 16 : Roses des vents pendant les premières séries de mesure des campagnes estivale et hivernale.....	37
Figure 17 : Histogramme des moyennes annuelles estimées en NO ₂ sur la zone d'étude (µg/m ³).....	38
Figure 18 : Carte des concentrations moyennes annuelles en NO ₂ estimées sur la zone d'étude (moyenne des deux campagnes en µg/m ³)	39
Figure 19 : Box plot des concentrations en NO ₂ mesurées sur les deux campagnes (données horaires).....	40
Figure 20 : Rose des pollutions du 02/02/2023 à la station Ty-Yann (NO ₂ en µg/m ³).....	41
Figure 21 : Evolution journalière des concentrations en NO ₂ lors de la campagne hivernale (µg/m ³).....	42
Figure 22 : Evolution journalière des concentrations en NO ₂ lors de la campagne estivale (µg/m ³)	42
Figure 23 : Rose des pollutions du 20/06 (haut) et du 21/06/2023 (bas) à la station Ty-Yann (NO ₂ en µg/m ³)	43
Figure 24 : Polar plot des concentrations mesurées en NO ₂ (µg/m ³) sur les sites Desmoulins, Macé, SNCF et Ty-Yann ; campagnes hiver et été.....	44
Figure 25 : Carte des concentrations en SO ₂ rencontrées sur la zone d'étude – moyenne campagnes (été/hiver)	50
Figure 26 : Evolution journalière des concentrations en SO ₂ lors de la campagne estivale (µg/m ³)	51
Figure 27 : Polar plot des concentrations mesurées en SO ₂ (µg/m ³) sur le site SNCF, campagne estivale	52
Figure 28 : Carte des concentrations en particules sédimentables rencontrées sur la zone d'étude - moyenne campagnes (été/hiver)	54
Figure 29 : Box plot des concentrations en PM10 mesurées sur les deux campagnes (données horaires).....	57
Figure 30 : Evolution journalière des concentrations en PM10 lors de la campagne hivernale (µg/m ³)	57
Figure 31 : Evolution journalière des concentrations en PM10 lors de la campagne estivale (µg/m ³).....	58

Figure 32 : Rose des pollutions du 26 ; 27 et 28/06/2023 à la station Ty-Yann (PM10 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	59
Figure 33 Polar plot des concentrations mesurées en PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) sur les sites Desmoulins, Macé, SNCF et Ty-Yann ; campagnes hiver et été.....	60
Figure 34 : Analyse de la composition chimique des PM10 par vents d'Ouest.....	66
Figure 35 : Analyse de la composition chimique des PM10 par vents de Sud-Ouest.....	67
Figure 36 : Evolution du Lévo-glucosan sur les sites de mesure – campagne hivernale	68
Figure 37 : Rose des pollutions, site Ty-Yann, campagne hivernale.....	68
Figure 38 : Analyse de la composition chimique des PM10 par vents de Sud-Ouest.....	71
Figure 39 : Analyse de la composition chimique des PM10 par vents de Sud-Est.....	72
Figure 40 : Evolution du Lévo-glucosan sur les sites de mesure – campagne estivale.....	73
Figure 41 : Rose des pollutions, site SNCF, campagne estivale.....	74
Figure 42 : Carte des concentrations moyennes annuelles en NO_2 estimées sur la zone d'étude (moyenne annuelle estimée en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) – comparaison aux seuils de la nouvelle Directive Européenne	82

Index des tableaux

Tableau 1 : Synthèse des émissions (phase préliminaire) – données 2018 (ISEA V4.1).....	14
Tableau 2 : Présentation des polluants mesurés pendant les campagnes	15
Tableau 3 : Techniques de mesure des polluants.....	16
Tableau 4 : Site de mesure à proximité des activités du port.....	18
Tableau 5 : ICPE et IREP présent sur la zone portuaire de Brest (Géorisques).	19
Tableau 6 : Synthèse des influences de la zone d'étude sur les points de mesure	22
Tableau 7 : Dates des séries de prélèvement (NO ₂ , SO ₂ , COV, ML) lors des deux campagnes de mesure	23
Tableau 8 : Tableau de synthèse des valeurs guides et réglementaires des polluants étudiés.....	24
Tableau 9 : Synthèse météorologique (campagne hivernale) et comparaison aux normales du mois de janvier.....	27
Tableau 10 : Synthèse météorologique (campagne estivale) et comparaison aux normales du mois de juin.	27
Tableau 11 : Taux de recouvrement (Tc) des appareils (données horaires), pour les deux campagnes de mesure	34
Tableau 12 : Intercomparaison des tubes passif (NO ₂ et SO ₂).....	35
Tableau 13 : Comparaison de la mesure passive avec la mesure en continu (référence).....	35
Tableau 14 : Résultats des mesures en NO ₂ sur les deux campagnes.....	36
Tableau 15 : Statistiques des séries de mesure (NO ₂ en µg/m ³)	37
Tableau 16 : Synthèse statistique des mesures en NO ₂ , campagne hivernale et estivale (µg/m ³).....	40
Tableau 17 : Synthèse des résultats en Benzène - campagne estivale et hivernale (µg/m ³)	46
Tableau 18 : Synthèse des résultats en COV - campagnes estivale et hivernale (µg/m ³) – site Macé.....	47
Tableau 19 : Synthèse des résultats en COV - campagnes estivale et hivernale (µg/m ³) – site Ty-Yann	47
Tableau 20 : Synthèse des résultats en COV - campagnes estivale et hivernale (µg/m ³) – site SNCF.....	47
Tableau 21 : Résultats des mesures en métaux lourds sur le site SNCF (P22) (ng/m ³).....	48
Tableau 22 : résultats des mesures max en SO ₂ (µg/m ³) sur les deux campagnes.....	49
Tableau 23 : Synthèse statistique des mesures en SO ₂ , campagne hivernale et estivale (µg/m ³).	51
Tableau 24 : résultats des mesures en particules sédimentables sur les deux campagnes (mg/m ² /jour).....	53
Tableau 25 : Activités à proximité des sites de mesure présentant des niveaux en particules sédimentables élevés.	54
Tableau 26 : Synthèse statistique des mesures en PM ₁₀ , campagne hivernale (µg/m ³).....	56
Tableau 27 : Sélection des filtres pour la spéciation chimique - campagne hivernale.....	64
Tableau 28 : Résultats de la spéciation chimique des particules PM ₁₀ – campagne hivernale.....	65
Tableau 29 : Sélection des filtres exposés aux PM ₁₀ par vents d'Ouest - campagne hivernale.....	66
Tableau 30 : Sélection des filtres exposés aux PM ₁₀ par vents de Sud-Ouest - campagne hivernale.....	66
Tableau 31 : Sélection des filtres pour la spéciation chimique - campagne estivale.	69
Tableau 32 : Résultats de la spéciation chimique des particules PM ₁₀ – campagne estivale.....	70
Tableau 33 : Sélection des filtres exposés aux PM ₁₀ par vents de Sud-Ouest - campagne estivale.	71
Tableau 34 : Sélection des filtres exposés aux PM ₁₀ par vents de Sud-Est - campagne estivale.....	72
Tableau 35 : Comparaison des niveaux mesurés lors de cette étude aux seuils de la nouvelle Directive européenne à respecter en 2030 (approuvée le 14/10/24).....	81

Tableau 36 : Photos et coordonnées des points de mesure	86
Tableau 37 : Résultats des séries de mesure (NO ₂ en µg/m ³) – campagne estivale et hivernale	93
Tableau 38 : Résultats des séries de mesure (SO ₂ en µg/m ³) – campagne estivale et hivernale.....	93
Tableau 39 : Caractéristiques des filtres choisis pour la spéciation chimique des PM10 – campagne hiver.....	94
Tableau 40 : Caractéristiques des filtres choisis pour la spéciation chimique des PM10 – campagne été	94

I. INTRODUCTION

Les riverains du port et notamment du quartier St Marc, se plaignent occasionnellement des nuisances occasionnées par les activités exercées dans la zone portuaire. Dans ce contexte, la Métropole a demandé à Air Breizh de mener des investigations via la mesure afin d'améliorer les connaissances sur le niveau d'exposition des riverains.

Dans un premier temps, une phase préalable de traitement des données existantes a été réalisée en 2022 pour mieux comprendre les enjeux en termes de qualité de l'air sur le port, lister les activités exercées sur le port, identifier les polluants à enjeux et les zones d'émissions préférentielles (spatialisation des émissions) et cibler les zones d'habitations. A partir de ce travail, un protocole d'investigations a été élaboré pour la réalisation des mesures de la qualité de l'air. Cette étude est disponible sur notre site internet¹ (« Impact des émissions du port sur la qualité de l'air : analyse des données existantes » – version du 22/02/22).

Le présent rapport s'inscrit dans la continuité de l'étude préalable et détaille les résultats des deux campagnes de mesure, réalisées à différentes périodes de l'année afin de garantir une bonne représentativité des résultats :

- 1^{ère} campagne : du 12 janvier au 09 février 2023
- 2^{nde} campagne : du 01 juin au 29 juin 2023

Les polluants à enjeux sanitaires ont été mesurés sur la zone d'étude, au plus proche des sources d'émission et dans les quartiers à l'entour de la zone portuaire, pour évaluer l'impact des activités sur la qualité de l'air des quartiers riverains.

Cette étude a permis de mieux comprendre les niveaux d'exposition des populations riveraines aux différents polluants issus des activités du port et de mettre en avant la sensibilité de certaines zones vis-à-vis de certains polluants.

Cette étude fait état d'une situation au moment des mesures, mais ne permet pas de rendre compte de l'exposition pérenne des riverains. En effet, le contexte des mesures (activité du port, conditions météorologiques, etc.) est évolutif.

¹ <https://www.airbreizh.asso.fr/publication/brest-impact-des-emissions-du-port-sur-la-qualite-de-lair-phase-i-analyse-des-donnees-existantes/>

II. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

II.1. La ville de Brest

Sept quartiers composent la ville de Brest (cf. figure 1). Les trois quartiers riverains du port sont les suivants :

- **Quatre moulins** : il s'agit d'un quartier qui a profité de travaux de rénovation significatifs ces dernières années (arrivée du tramway, plateau des Capucins, ...) ce qui a contribué à dynamiser la vie du quartier et à augmenter le nombre d'habitants.
- **Brest Centre** : il s'agit du quartier le plus densément peuplé (4325 hab/km²). Son urbanisation est organisée selon un quadrillage orienté suivant un axe nord-Ouest/sud-est, recoupé par des rues parallèles aux fortifications.
- **Saint-Marc** : il s'agit d'une ancienne commune située à l'Est de Brest. La partie Sud est occupée par le port de Brest. L'habitat est regroupé sur la partie Nord, en surplomb de plusieurs dizaines de mètres par rapport au port (en haut de l'ancienne falaise côtière). Ce quartier de Brest enregistre une baisse de sa population (0.8% de 2008 à 2013).

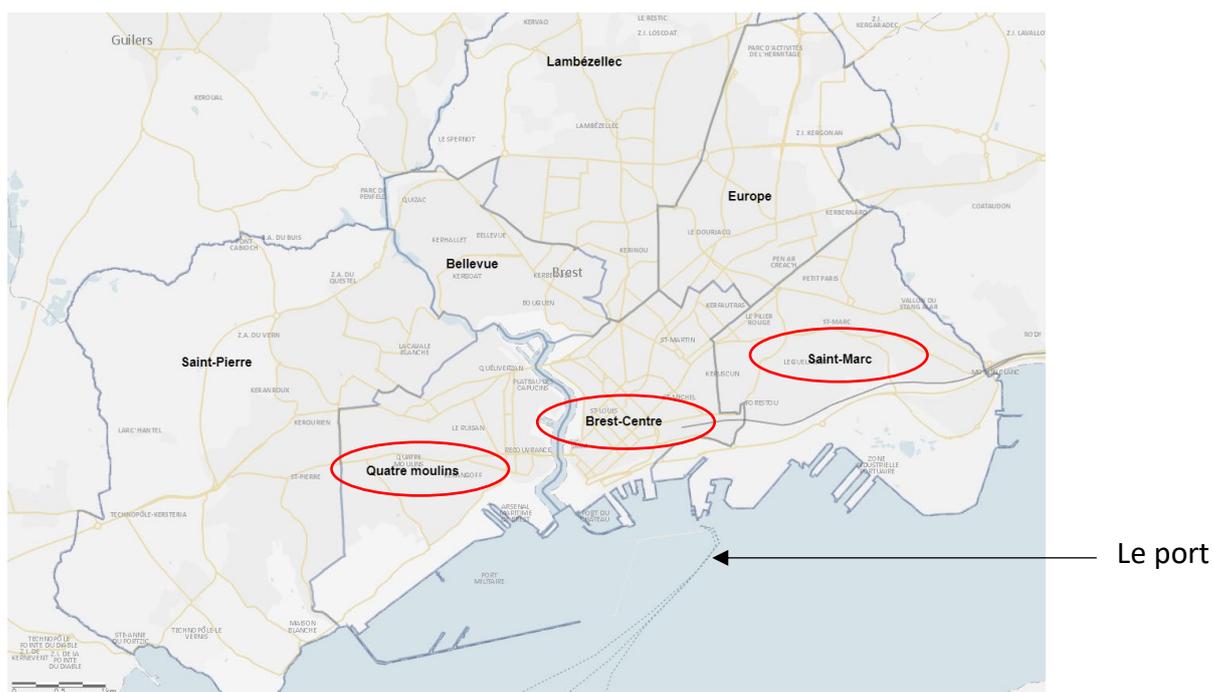


Figure 1 : Découpage de la ville de Brest ²

² Source : <https://www.brest.fr/deux-institutions/la-ville-de-brest/les-sept-quartiers-de-brest-1687.html>

II.2. Le port de Brest

La ville de Brest présente une orientation maritime marquée du fait de la place occupée par son port. Ce dernier regroupe les spécialités suivantes (cf. figure 2) :

- Le **port militaire** [1] : il occupe la partie Sud-Ouest du port. Brest est le siège de l'Escadre de l'Atlantique et de la Force Océanique Stratégique et la base française des sous-marins nucléaires. La réparation navale des sous-marins et des bateaux militaires est réalisée dans cette partie du port par la Direction des Constructions Navales de Brest (DCNS).
- Le **port de commerce** [2] : Les plus gros tonnages de marchandises correspondent à la réception des matières premières destinées à l'alimentation animale (jusqu'à 1 000 000 tonnes/an), et à l'exportation de volailles congelées (jusqu'à 200 000 tonnes/an). D'autres marchandises sont également manœuvrées tels que le bois, le ciment, les hydrocarbures, ...
- Le **port de réparation navale** [3] : La réparation navale civile est en développement à Brest. Trois formes de radoub et 5 quais de réparation à flot permettent d'accueillir cette activité.
- Le **port de plaisance** : Deux marinas permettent d'accueillir les bateaux de plaisance : le port du moulin Blanc [4] (1325 places) et le port du Château [5] (750 places).
- Le **port de pêche** [6] : La flotte de pêche se compose de 70 bateaux (40 fileyeurs et 30 coquilliers en saison hivernale).
- Le **port d'escale** [7] : Chaque année, le port de Brest accueille entre douze et quinze escales de paquebots sur une durée d'une demi-journée à une journée, ce qui représente plus de 10000 passagers.

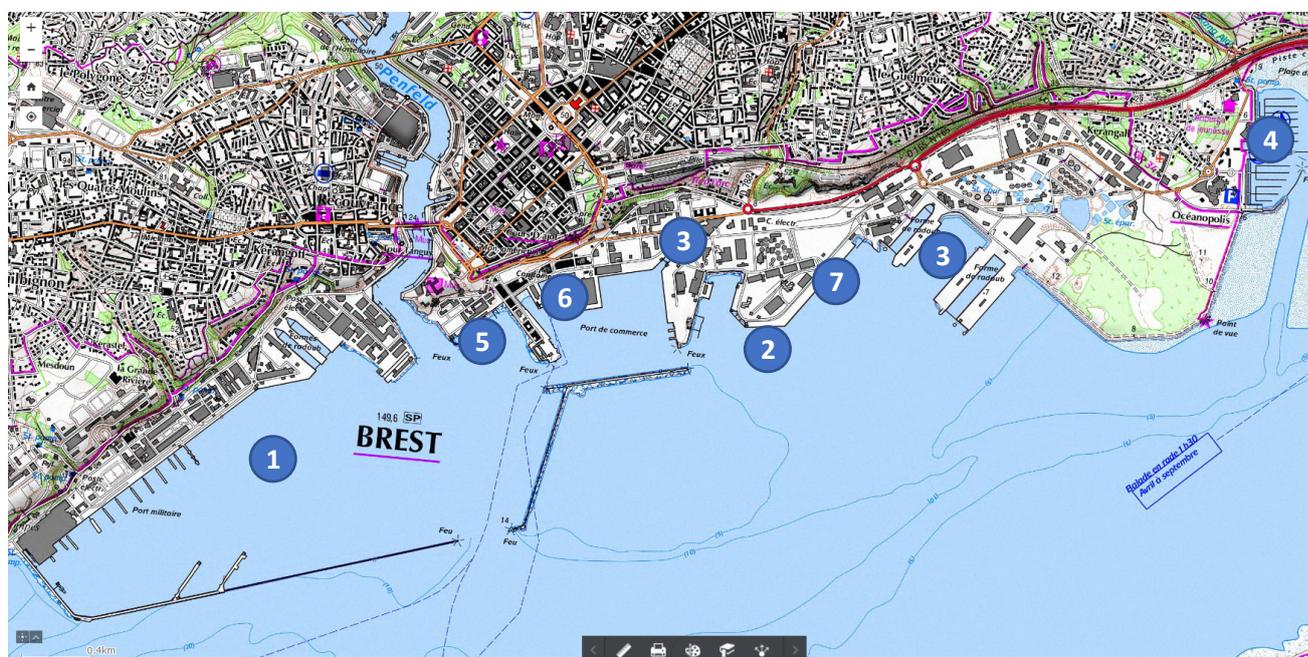


Figure 2 : Localisation des installations portuaires

Une description plus détaillée du port de commerce et du port de réparation navale a été réalisée dans le rapport de la phase I (2022)³ ; l'organisation de la zone d'activité par secteur, les installations portuaires exploitées par la Société portuaire Brest Bretagne ('BrestPort') et l'environnement topographique du secteur y sont présentés.

II.3. Description de la zone d'étude

Le présent chapitre décrit la zone d'étude définie avec l'agglomération, tenant compte du positionnement des sources d'émissions pré-identifiées, à savoir celles de la zone portuaire, et des quartiers résidentiels limitrophes.

a) Délimitation de la zone d'étude

A la demande de la collectivité, l'étude est centrée sur les émissions de la zone industrielle du port de Brest, comprise entre les ports de plaisance du Château et du Moulin Blanc. Les activités du port militaire ne sont pas étudiées à défaut de données.

La zone d'étude est élargie aux zones résidentielles situées au Nord du port industriel, délimitée par la route de Quimper au Nord-Est, et la rue Jean-Jaurès au Nord-Ouest (cf. figure 3). Cela représente une surface de l'ordre de 9 km².

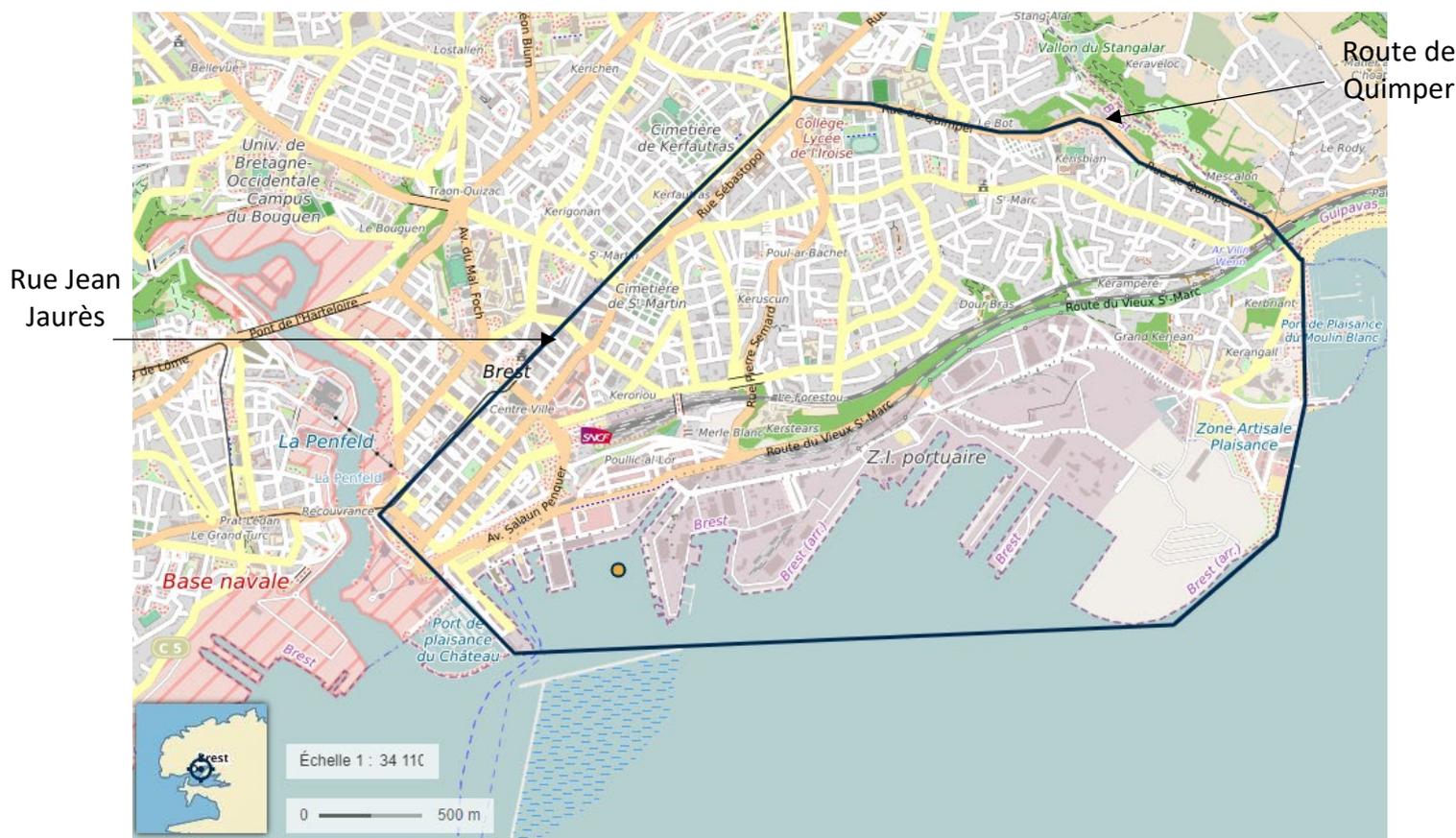


Figure 3 : Délimitation de la zone d'étude [Géoportail]

³ <https://www.airbreizh.asso.fr/publication/brest-impact-des-emissions-du-port-sur-la-qualite-de-lair-phase-i-analyse-des-donnees-existantes/>

b) Synthèse de la phase préliminaire sur la zone d'étude

Une description détaillée de la zone d'étude a été réalisée dans le rapport de la phase I (2022) ; les éléments suivants y sont présentés :

- L'habitat dans la zone d'étude ;
- Les établissements sensibles ;
- Les établissements industriels classés pour la protection de l'environnement (ICPE) ;
- Les conditions météorologiques.

Ce travail a permis d'améliorer la compréhension du secteur d'étude concernant :

- D'une part, les **sources d'émissions** de la zone portuaire :

Différents secteurs d'activités ont été identifiés telles que la réparation navale, le stockage de produits divers tels que les céréales, des déchets type ferraille, CSR, des combustibles (gaz et hydrocarbures). Les installations industrielles susceptibles d'impacter l'environnement (ICPE) ont été listées. Trois d'entre-elles entrent dans le régime Seveso seuil haut du fait des risques occasionnés par leurs activités. Il s'agit d'entreposage de combustibles inflammables.

A cela s'ajoutent également les émissions du trafic maritime (au niveau du port et durant la traversée de la rade de Brest), du trafic routier dans la zone portuaire et du secteur résidentiel-tertiaire.

- D'autre part, l'**environnement** de la zone portuaire :

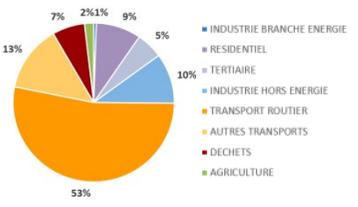
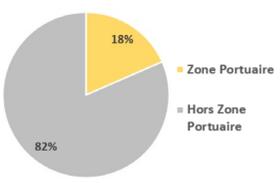
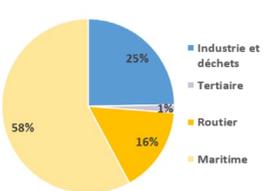
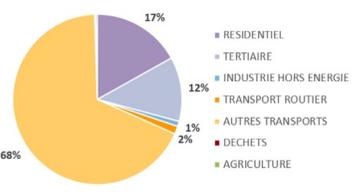
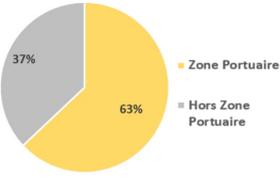
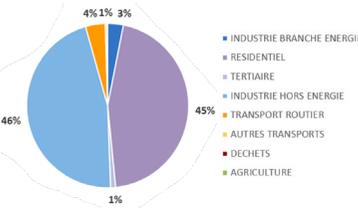
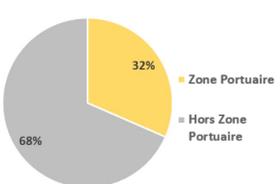
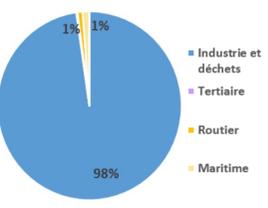
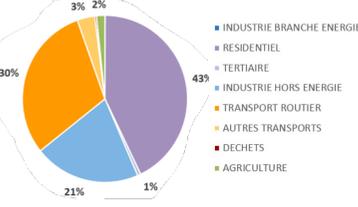
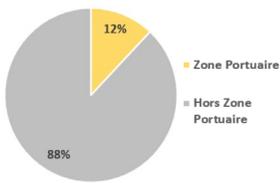
Les premières habitations se trouvent à environ 300 m du port. L'habitat est particulièrement concentré à l'arrière du port, au niveau du quartier St-Marc. Ce dernier se trouve en surélévation de 30 à 40 mètres par rapport au port ; l'ancienne falaise côtière séparant le port des habitations. Ce quartier se trouve sous l'influence des émissions du port par vent de Sud-Ouest (conditions de vent majoritaires).

De nombreux établissements sensibles, notamment des écoles, ont été recensés dans la zone d'étude dont les plus proches se trouvent à 300 mètres du port.

Un bilan des émissions a été réalisé lors de la phase préliminaire avec notamment l'attribution et la spatialisation des émissions sur la zone portuaire afin de discriminer spatialement les activités du port de Brest. Ce travail a permis d'améliorer les connaissances sur les sources d'émission de la zone d'étude et de préciser le plan d'échantillonnage pour les campagnes de mesure (présenté dans la partie III-3).

Une synthèse de ces résultats est présentée dans le Tableau 1 ci-après.

Tableau 1 : Synthèse des émissions (phase préliminaire) – données 2018 (ISEA V4.1).

Polluants		Secteur d'émissions de la commune de Brest		Part des émissions entre la ville de Brest et la zone portuaire		Secteur d'émissions de la zone portuaire		Commentaires
Oxydes d'azote	NOx	Emissions majoritaires liées aux transports (transport routier majoritaire)		20 % des émissions dues à l'activité du port		Emissions majoritaires du transport maritime.		Les émissions de la zone portuaire se situent majoritairement au niveau de la zone commerciale à l'ouest de la zone, des voies de circulation (rue Jean-Marie le Bris, route du Vieux Saint-Marc et D165), de la plateforme multi-vrac et de quelques quais (6ème sud, Quais de réparations...). L'entreprise Bünge représente à elle seule 20% des émissions d'oxyde d'azote de la zone portuaire.
					63 % des émissions dues à l'activité du port			
Composés Organiques Volatiles Non Méthanique	COVNM	Emissions majoritaires liées à l'Industrie hors énergie et au secteur résidentiel		32 % des émissions dues à l'activité du port			Emissions majoritaires de l'industrie et des déchets.	
					le transport et le chauffage urbain, embruns marins			Emissions majoritaires de l'industrie et des déchets.

III. MATERIEL ET METHODE

III.1. Présentation des polluants étudiés

Le Tableau 2 ci-dessous présente les polluants retenus pour la campagne de mesure ainsi que leurs effets sur la santé et sur l'environnement. Parmi ces polluants, certains sont réglementés dans le code de l'environnement selon des valeurs seuils sanitaires pour la protection de la santé. Ces polluants sont suivis en Bretagne dans le cadre de la surveillance réglementaire.

Famille de polluant	Composés mesurés		Polluants réglementés	Effet sur la santé	Effet sur l'environnement
Oxydes d'azote	NO, NO ₂		NO ₂	Le dioxyde d'azote (NO ₂) pénètre dans les voies respiratoires profondes, où il fragilise la muqueuse pulmonaire face aux agressions infectieuses, notamment chez les enfants. Aux concentrations rencontrées habituellement le dioxyde d'azote provoque une hyperréactivité bronchique chez les asthmatiques.	Les NOx contribuent aux phénomènes des pluies acides (qui affectent les végétaux et les sols) et à l'augmentation de la concentration des nitrates dans le sol. Sous l'effet du soleil, ils participent à la formation d'ozone troposphérique et donc indirectement à l'accroissement de l'effet de serre. Associés à l'ammoniac, ils ont un rôle précurseur dans la formation de particules secondaires.
Oxydes de Soufre	SO ₂		SO ₂	Le dioxyde de soufre est un gaz irritant, notamment pour l'appareil respiratoire, il affecte le fonctionnement des poumons et il provoque des irritations oculaires.	Dans l'atmosphère, le SO ₂ se transforme principalement en acide sulfurique, ce qui contribue au phénomène des pluies acides. Cet acide participe, en association avec d'autres polluants, à l'acidification et à l'appauvrissement des milieux naturels, il participe aussi à la détérioration des matériaux utilisés dans la construction des bâtiments (pierre, métaux).
Composés Organiques Volatiles Non Méthanique	Screening 10 composés dont BTEX (Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylènes)		Benzène	Les effets des COVNM sur la santé sont multiples. Ils peuvent causer différents troubles soit par inhalation, soit par contact avec la peau. Ils peuvent provoquer des irritations de la peau, des yeux et du système respiratoire. Ils peuvent aussi entraîner des troubles cardiaques, digestifs, rénaux, nerveux. L'inhalation d'un taux très élevé de benzène peut causer la mort, tandis que des taux élevés peuvent occasionner des somnolences, des vertiges, une accélération du rythme cardiaque. le benzène est connu pour ces effets mutagènes et cancérogènes.	Les COVNM interviennent en tant que précurseurs dans la formation de l'ozone en réagissant notamment avec les oxydes d'azote, ainsi qu'à la formation d'aérosol organique secondaire (particules secondaires).
Particules	Particules sédimentables	Gravimétrie	/		Les effets de salissures des bâtiments sont les atteintes à l'environnement les plus évidentes ; les particules contribuent à la dégradation physique et chimique des matériaux. Les particules réduisent la visibilité, et elles ont un effet complexe sur le climat : la plupart contribuent au refroidissement de l'atmosphère alors que d'autres, comme le "carbone suie", participent au réchauffement de l'atmosphère en absorbant la lumière.
	PM10 (particules Inférieures à 10 µm)	Gravimétrie	PM10	Les effets sur la santé sont variés et dépendent de la taille et de la composition chimiques des particules. Les particules les plus grosses sont retenues par les voies aériennes supérieures. Plus elles sont fines et plus elles pénètrent profondément dans l'arbre pulmonaire, elles atteignent les voies respiratoires inférieures et peuvent altérer la fonction respiratoire dans son ensemble.	
		Caractérisation chimique	Métaux lourds	Arsenic (As)	Les métaux s'accumulent dans l'organisme et provoquent des effets toxiques à court et/ou à long terme. Ils peuvent affecter le système nerveux, les fonctions rénales, hépatiques, respiratoires, cardiovasculaire... Le plomb est un toxique neurologique bien connu, responsable du saturnisme. Il peut entraîner chez l'enfant des troubles du développement cérébral. L'atteinte rénale causée par le cadmium peut être l'origine d'une décalcification osseuse, de douleurs et de fractures. Le nickel, bien que permettant d'éviter les anémies en fer, peut à forte dose provoquer des dysfonctionnements de la fonction thyroïdienne. L'arsenic, oligo-élément à petite dose, a longtemps été employé comme poison pour provoquer la mort. Le nickel, l'arsenic et le cadmium sont classés cancérogènes.
				Cadmium (Cd)	
				Plomb (Pb)	
		Nickel (Ni)			
		Carbone élémentaire (EC) Carbone organique (OC) Anions Cations Sucres	/		

Tableau 2 : Présentation des polluants mesurés pendant les campagnes

D'autres composés sont étudiés mais ne font pas l'objet de réglementation particulière. L'étude de ces composés permet de mieux comprendre la qualité de l'air sur la zone d'étude. Par exemple, le lévoglucosan (sucre) contenu dans les particules, est considéré comme traceur de la combustion de la biomasse et en particulier du bois.

III.2. Technique de mesure

Le Tableau 3 ci-dessous présente les techniques de mesure des polluants étudiés. Deux types de mesures sont utilisés :

- Les mesures actives (ou automatiques) nécessitent l'utilisation d'un appareil avec de l'énergie pour pouvoir « aspirer » l'air, les polluants sont mesurés directement dans l'appareil, en continu (analyse directe), ou sont impactés sur un filtre qui sera ensuite analysé en laboratoire (analyse différée). Ce type de mesure permet d'obtenir des données sur une temporalité courte (moyenne horaire, journalière).
- Les mesures passives sont généralement peu coûteuses et ne nécessitent pas d'énergie pour être mises en œuvre. Les capteurs utilisés « récoltent » les polluants sur une durée déterminée (1 semaine, 1 mois). Les échantillons sont ensuite envoyés au laboratoire pour analyse. Ce type de mesure permet de déployer un grand nombre de préleveur pour cartographier une zone.

Tableau 3 : Techniques de mesure des polluants

Type de mesure	Technique de mesure	Polluants	Appareil de mesure	Temporalité	Nombre de point
Actif	Prélèvement sur filtre : impaction des PM10 et analyses en laboratoire	EC	DA80	journalier	3
		OC			
		Anions			
		Cations			
		Sucres			
	ML	Partisol	1 semaine	1	
Mesure en continu : optique	PM10	FIDAS	Horaire	3	
	NO ₂	AC32e		3	
	SO ₂	APSA370		1	
Passif	Prélèvement par tube passif : diffusion passive	NO ₂	Tube NO ₂ Passam long terme	1 semaine	32
		SO ₂	Tube radiello (code 166)		16
		COV	Tube Radiello (code 145)		3
	Prélèvement sur plaquette : dépôt gravitaire	particules sédimentables	Plaquette DIEM	1 mois	23

III.3. Présentation du plan d'échantillonnage

Tenant compte des polluants identifiés lors de la phase préalable, des techniques et des moyens disponibles, la stratégie de mesure mise en place est la suivante :

- trois stations de mesures fixes (mesure en continu) : Quartier Saint-Marc (au niveau des habitations situées en bordure de la falaise), Moulin-Blanc (à l'Est du port) et la station urbaine de fond Macé (intégrée au dispositif réglementaire).
- des points de mesures différées (mesures hebdomadaires) pour les polluants traceurs de certaines activités (telles que le transport, les industries) afin d'améliorer la couverture spatiale des mesures et faciliter ainsi la recherche sur la contribution des sources.

La Figure 4 présente le plan d'échantillonnage de la zone d'étude pour les deux campagnes de mesure.



Figure 4 : Plan d'échantillonnage

III.4. Influence de l'activité du port sur les sites de mesure

L'objectif de ce chapitre est d'identifier les activités à proximité des points de mesure pour mettre en relation les niveaux mesurés et les activités du port (recherche de source).

a) Détails des activités du port

La Figure 5 et le Tableau 4 ci-dessous présentent les activités du port avec les sites de mesure à proximité. La zone portuaire est partagée entre les activités de plaisance, de commerce, de réparation navale et les activités industrielles. Certaines installations, présentes sur le port, appartiennent au classement ICPE et/ou IREP.

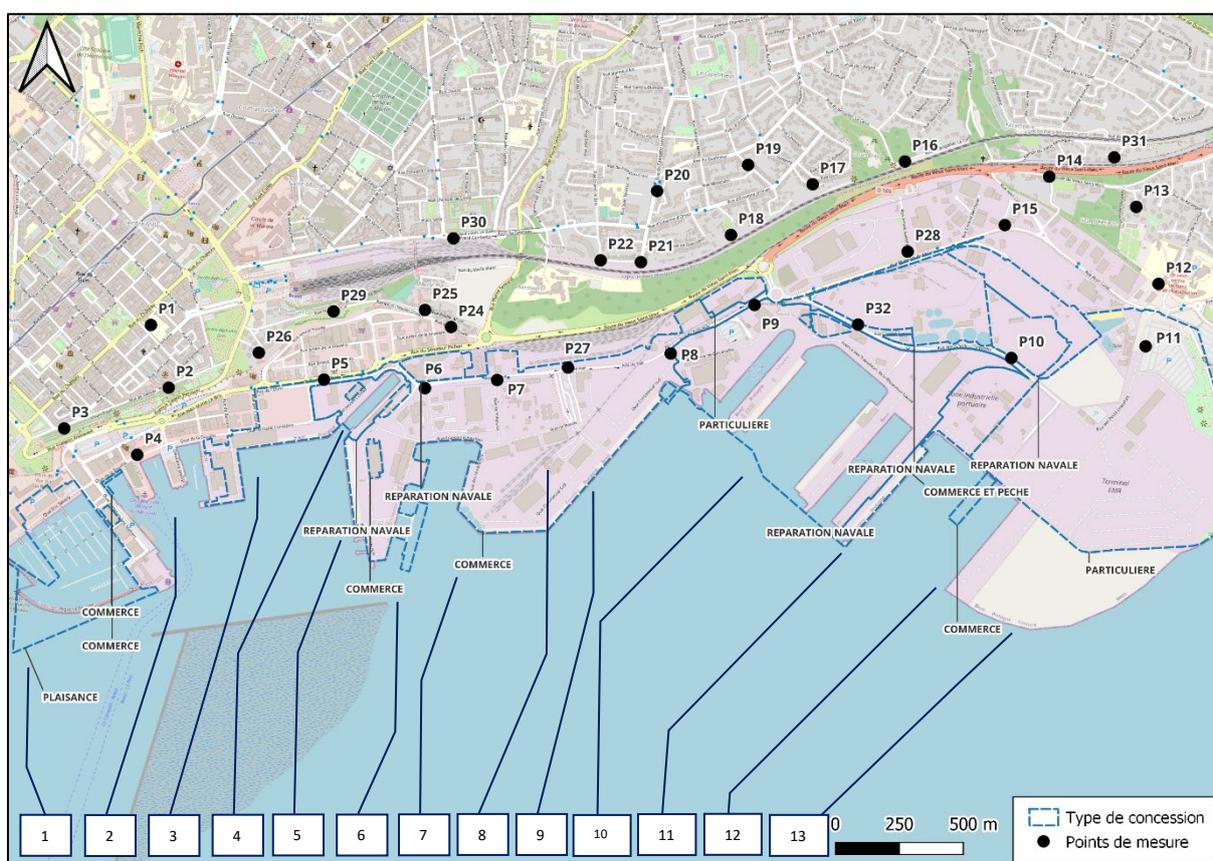


Figure 5 : Organisation des espaces portuaires à Brest et localisation des points de mesure.

Tableau 4 : Site de mesure à proximité des activités du port

	Activité du port	Site de mesure à proximité
1	Port de plaisance	P3 ; P4
2	Navires de servitude et de desserte des îles	P4 ; P3 ; P2
3	5ème bassin, zone pluriactivité	P5 ; P26
4	Forme 1 : déconstruction, réparation, découpe	P5 ; P6 ; P24 ; P25 ; P29
5	Quai 5e Est : déchargement bois, ferail, CSR (combustible solide de récupération)	P5 ; P6
6	6ème Bassin, Quai Ouest - stockage pierre ponce	P5 ; P6 ; P7
7	6ème Bassin, Quai Est - manipulation matière agricole (touteau, huile)	P6 ; P7
8	6ème Bassin, Quai Sud - magasin, silo SPBB	P7 ; P27
9	Plateforme multimodale - conteneurs	P7 ; P27 ; P8
10	Forme 2, Forme 3, quais de réparation 1 et 4	P8 ; P9 ; P32 ; P10
11	Postes Gaz - hydrocarbure	P10
12	Poste sabier, Stockage et manipulation feraille, quai EMR (énergie marine renouvelable)	P10 ; P11 ; P12
13	Chantier Polder	

b) ICPE et IREP sur la zone portuaire

Les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) peuvent avoir des impacts (pollution de l'eau, de l'air, des sols, ...) et présenter des dangers (incendie, explosion, ...) sur l'environnement. Pour ces raisons, elles sont soumises à des réglementations spécifiques. En fonction de leurs activités, différents régimes de classement sont appliqués (Déclaration, Enregistrement, Autorisation environnementale).

La Direction Générale de la Prévention des Risques du ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires recense les principaux rejets et transferts de polluants (dans l'eau, l'air et les déchets) déclarés par les principales installations industrielles. Les établissements déclarants des rejets et des transferts de polluants (IREP) sont donc susceptibles d'avoir un impact sur la qualité de l'air à proximité.

Le Tableau 5 ci-dessous et les Figure 6 et Figure 7 ci-après présentent les principales installations classées ICPE et déclarants des rejets et des transferts de polluants sur la zone portuaire.

Trois installations appartiennent au régime SEVESO seuil haut : la compagnie des gaz de pétrole PRIMAGAZ, et les deux sites STOCKBREST (STB1 et STB2).

On remarque que la zone industrielle à l'Est du port concentre une grande partie des installations IREP.

Tableau 5 : ICPE et IREP présent sur la zone portuaire de Brest (Géorisques).

Nom	Activité principale	Régime SEVESO	IREP	Site de mesure à proximité
Les recycleurs Bretons	Nettoyage courant des bâtiments	Non Seveso	OUI	P5
BUNGE France	Commerce de gros (commerce interentreprises) de céréales, de tabac non manufacturé, de semences et d'aliments pour le bétail	Non Seveso	OUI	P7 ; P27
SARP ouest	Collecte et traitement des eaux usées	Non Seveso	OUI	P8 ; P9
Compagnie des gaz de pétrole PRIMAGAZ	Commerce de gros (commerce interentreprises) de combustibles et de produits annexes	Seveso seuil haut	OUI	P32 ; P28
GUYOT environnement	Récupération de déchets triés	Non Seveso	OUI	P10
SPBB - station de déballastage	Réparation et maintenance navale	Non Seveso	OUI	P10
STEP - zone portuaire	Collecte et traitement des eaux usées	Non Seveso	OUI	P10
Eau du Ponant SPL	Traitement et élimination des déchets non dangereux	Non Seveso	OUI	P10
STOCKBREST (STB1)	Entreposage et stockage non frigorifique	Seveso seuil haut	OUI	P12
STOCKBREST (STB2)	Entreposage et stockage non frigorifique	Seveso seuil haut	NON	P32
SUEZ RV OSIS OUEST	Collecte et traitement des eaux usées	Non Seveso	OUI	P15



Figure 6 : ICPE et IREP sur la zone portuaire (Géorisques)

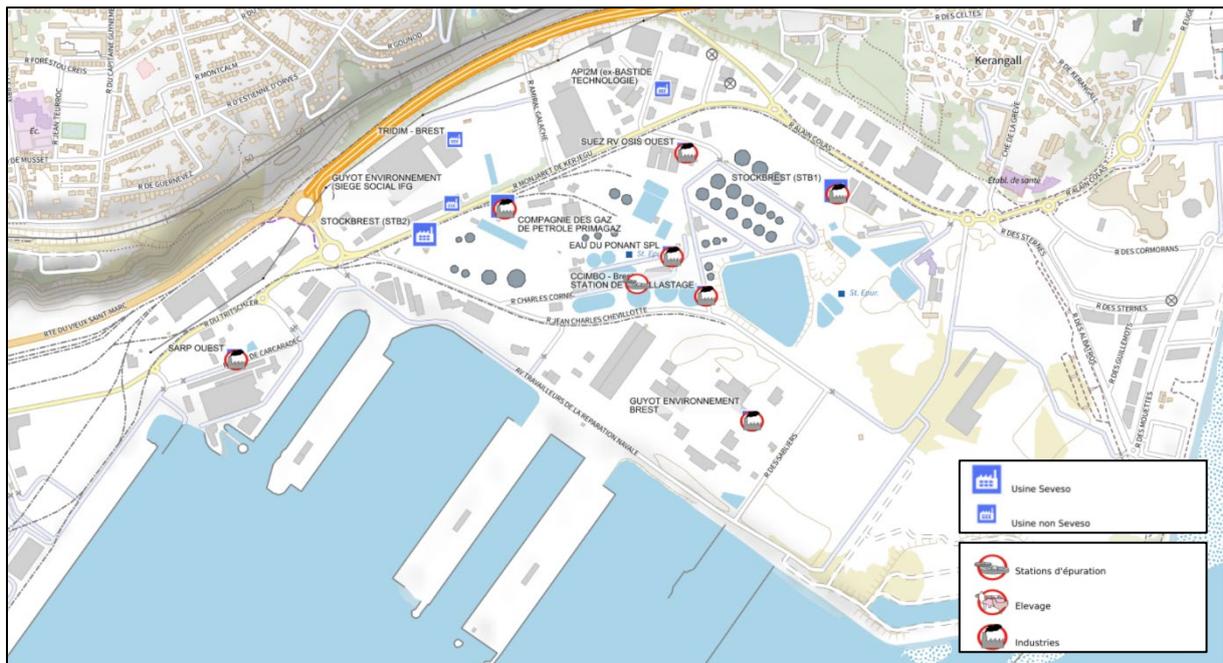


Figure 7 : ICPE et IREP de la zone industrielle du port de Brest (Géorisques)

c) Trafic routier sur la zone d'étude

La Figure 8 présente le trafic moyen journalier annuel (TMJA – année 2020) sur la zone d'étude.

On peut voir que certains points sont proches d'axes routiers très fréquentés. Les points P14, P5 et P24 semblent être les points les plus proches des axes avec des TMJA importants. De ce fait, ces points sont probablement les plus exposés aux polluants issus du trafic routier, tel que les NOx (composés issus majoritairement du trafic routier) et les particules fines. Sur ces points, des prélèvements passifs ont été effectués (NOx et particules sédimentables)

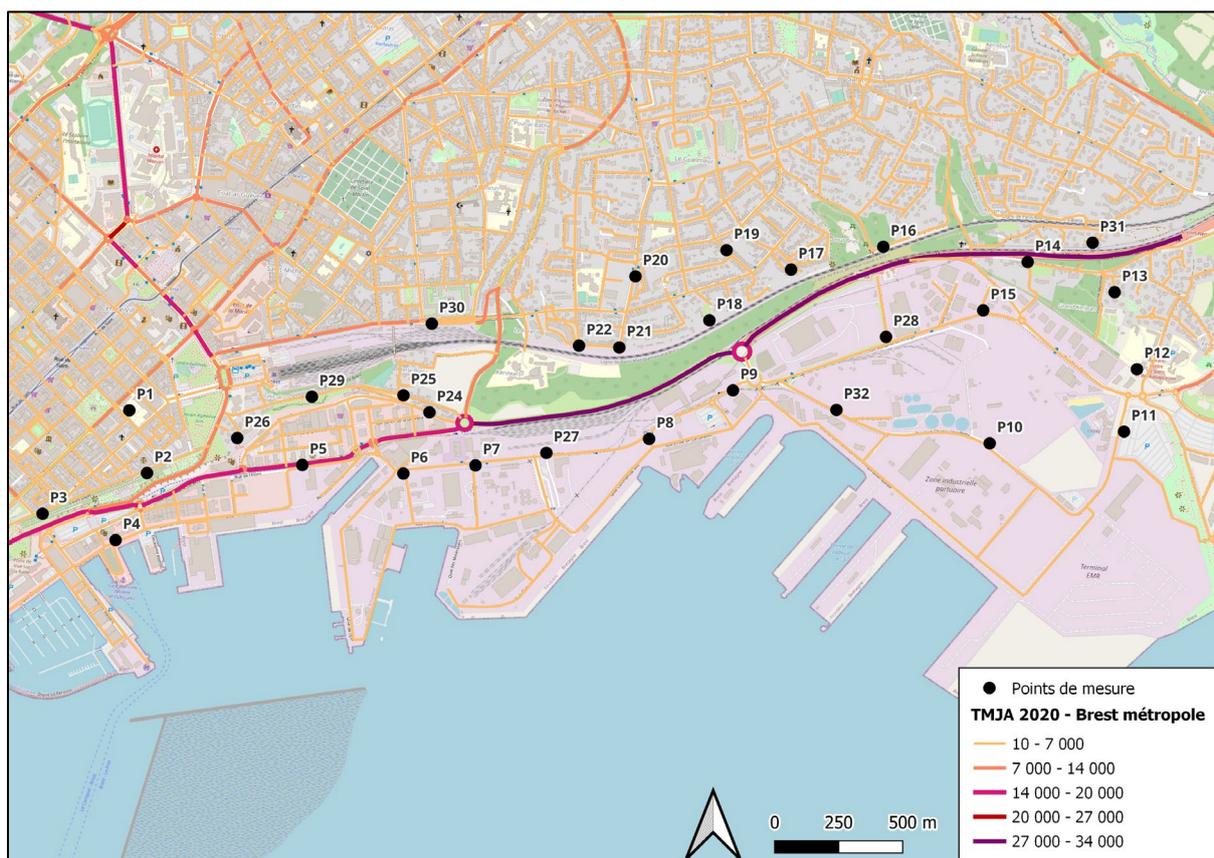


Figure 8 : Carte du TMJA (2020) sur la zone d'étude

d) Synthèse de l'influence des points de mesure sur la zone portuaire

Le Tableau 6 ci-dessous présente une synthèse des influences probables des activités de la zone d'étude sur les points de mesure.

Certains sites de mesure sont influencés par plusieurs type d'activités, par exemple les sites P5, P24, P10. En fonction des conditions météorologiques, des sites de mesure plus éloignés des sources peuvent aussi être impactés par les des activités de la zone portuaire.

Tableau 6 : Synthèse des influences de la zone d'étude sur les points de mesure

	Activité du port à proximité	Trafic à proximité	Installations IREP
P4	Commerce	Modéré	
P5	5ème bassin ; réparation navale / Forme 1 ; Quai 5e Est ; Quai 6ème Ouest	Fort	Les recycleurs Breton
P6	Réparation navale / Forme 1 ; Quai 5e Est ; Quai 6ème Est et Ouest		
P7	Quai 6ème Est et Ouest et Sud ; Plateforme multimodale		Bunge
P8	Plateforme multimodale ; Forme 2, Forme 3, quais de réparation 1 et 4		SARP ouest
P9	Forme 2, Forme 3, quais de réparation 1 et 4		SARP ouest
P10	Forme 2, Forme 3, quais de réparation 1 et 4 ; Postes Gaz - hydrocarbure ; Poste sabier, Stockage et manipulation feraille, quai EMR (énergie marine renouvelable)		GUYOT environnement ; SPBB - station de déballastage ; STEP - zone portuaire ; Eau du Ponant SPL
P11	Poste sabier, Stockage et manipulation feraille, quai EMR (énergie marine renouvelable)		
P12	Entreposage et stockage non frigorifique		STOCKBREST (STB1)
P14		Fort	
P15	Collecte et traitement des eaux usées		SUEZ RV OSIS OUEST
P24	Forme 1	Fort	
P25	Forme 1		
P26	5ème bassin, zone pluriactivité		
P27	Industriel		Bunge
P28	Commerce de gros (commerce interentreprises) de combustibles et de produits annexes		Compagnie des gaz de pétrole PRIMAGAZ
P29	Forme 1		
P30		Modéré	
P32	Forme 2, Forme 3, quais de réparation 1 et 4		STOCKBREST (STB2) ; Compagnie des gaz de pétrole PRIMAGAZ

III5. Dates des campagnes de mesure

Deux campagnes de mesure de 4 semaines ont été effectuées, à des saisons différentes, recouvrant 14 % de l'année. Au total, 8 semaines ont fait l'objet de prélèvement, ce qui correspond au taux de couverture temporelle minimale pour la détermination d'une moyenne annuelle selon les Directives Européennes 2008/50/CE et 2004/107/CE.

Les analyseurs des sites fixes (camion laboratoire ou station Macé) ont mesuré en continu les concentrations des particules (PM10), en oxydes d'azotes et en dioxyde de soufre sur toute la durée des campagnes estivales et hivernales. Les plaquettes DIEM pour le prélèvement passif des particules sédimentables ont été laissées sur site pendant toute la durée des campagnes. Les dates de chacune de ces campagnes sont les suivantes :

- **Campagne hivernale : du 12/01/2023 au 09/02/2023**
- **Campagne estivale : du 01/06/2023 au 29/06/2023**

Les prélèvements passifs en NO₂, SO₂ et en COV ont été réalisés par série d'une semaine lors des campagnes de mesure, soit 4 séries de prélèvement par campagne. Des prélèvements sur filtres des particules PM10 pour la mesure des métaux lourds (ML) ont également été réalisés par série d'une semaine. Le Tableau 7 ci-dessous présente le détail des séries de prélèvement hebdomadaire.

Tableau 7 : Dates des séries de prélèvement (NO₂, SO₂, COV, ML) lors des deux campagnes de mesure

	Série	Début	Fin
Campagne hivernale	H1	12/01/2023	19/01/2023
	H2	19/01/2023	26/01/2023
	H3	26/01/2023	02/02/2023
	H4	02/02/2023	09/02/2023
Campagne estivale	E1	01/06/2023	08/06/2023
	E2	08/06/2023	15/06/2023
	E3	15/06/2023	22/06/2023
	E4	22/06/2023	29/06/2023

III6. Réglementation

Les valeurs de référence sont issues du code de l'environnement (article R221-1)⁴ et des lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air (révisées en 2021)⁵. Elles sont présentées dans le Tableau 8 ci-après.

Il est à noter que les valeurs de référence issues des lignes directrices de l'OMS sont établies sur la base de données scientifiques et constituent des niveaux d'exposition idéaux pour la protection de la santé humaine. La réglementation française évolue progressivement vers ces valeurs guides.

⁴Article R221-1 du code de l'environnement qui transpose les directives européennes 2008/50/CE et 2004/107/CE

⁵Résumé d'orientation (OMS 2021) : Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air

Tableau 8 : Tableau de synthèse des valeurs guides et réglementaires des polluants étudiés.

Famille de polluant	Composés mesurés		Polluants réglementés	Valeurs limites			Objectif qualité	Valeur guide de l'OMS (2021)		
				horaire	journalière	annuelle	annuelle	journalière	annuelle	
Oxydes d'azote	NO, NO ₂		NO ₂	200 µg/m ³		40 µg/m ³	40 µg/m ³	25 µg/m ³	10 µg/m ³	
Oxydes de Soufre	SO ₂		SO ₂	350 µg/m ³	125 µg/m ³		50 µg/m ³	20 µg/m ³		
Composés Organiques Volatiles Non Méthanique	Benzène Toluène m + p-Xylène o-Xylène Ethylbenzène		Benzène			5 µg/m ³	2 µg/m ³			
Particules	Particules sédimentables	Comptage		/						
		Comptage		PM10		50 µg/m ³	40 µg/m ³	30 µg/m ³	45 µg/m ³	15 µg/m ³
	Particules Inférieures à 10 µm	Caractérisation chimique	Métaux lourds	Arsenic (As)			6 ng/m ³			
				Cadmium (Cd)			5 ng/m ³			
				Plomb (Pb)			0,5 µg/m ³	0,25 µg/m ³		
				Nickel (Ni)			20 ng/m ³			
		Carbone élémentaire (EC) Carbone organique (OC) Anion Cation Sucres	/							
En moyenne horaire à ne pas dépasser plus de 18 heures par an.										
99e centile (3 à 4 jours par an)										
A ne pas dépasser plus de 3 jours par an										
A ne pas dépasser plus de 24 heures par an										
A ne pas dépasser plus de 35 jours par an										

Il est à noter que les valeurs limites et les objectifs qualités mentionnées dans ce tableau sont issus de la réglementation (code de l'environnement⁶).

⁶ Code de l'environnement : Section 1 : Surveillance de la qualité de l'air ambiant (Articles R221-1 à R221-3)

IV. CONTEXTE DES MESURES

Dans cette partie, le contexte des mesures pendant les campagnes est étudié, notamment les conditions météorologiques, l'activité du port pendant les périodes de mesure et le trafic routier sur la zone d'étude. L'objectif est d'étudier la représentativité des mesures sur les deux périodes retenues.

IV1. Conditions météorologiques

Le contexte météorologique peut avoir un impact sur les conditions de dispersion de la pollution atmosphérique. Certains paramètres favorisent la dispersion et/ou leur lessivage (par exemple la pluie), d'autres au contraire vont favoriser une accumulation des polluants (comme les hautes pressions), ou leur formation (comme l'ensoleillement).

Pour une campagne de mesure de la qualité de l'air, il est donc important d'étudier les conditions météorologiques dans lesquelles les mesures des polluants ont été effectuées.

Différents paramètres météorologiques ont fait l'objet d'un suivi pendant la campagne. Ils sont issus de la station Météo France la plus proche des points de mesure, située à Guipavas (29 490).

a) Direction et vitesse des vents

Les conditions de vitesse et de direction des vents sont souvent représentées par une rose des vents. Cette représentation permet de visualiser sur une période donnée :

- Le pourcentage de vent pour chaque direction : plus la pale est de grande taille, plus les vents venant de cette direction ont été nombreux pendant la période ;
- Les vitesses des vents venant de chaque direction : la couleur de chaque pale indique la classe de vitesse et la taille indique le pourcentage de vent avec cette vitesse.

Ainsi, plus la pale sera grande, plus les vents en provenance de cette direction seront fréquents (direction majoritaire) et au sein de cette pale, plus les couleurs bleues seront foncées (ou orange pour la normale des vents), plus les vents seront forts.

Les Figure 9 et Figure 10 présentent les conditions de vents relevées pendant les campagnes de mesure hivernale et estivale. Ces roses des vents sont comparées aux normales mensuelles entre 1991 et 2020.

Pendant la campagne **hivernale**, les vents étaient éparés, avec des provenances majoritaires du Nord-Est (40 - 80°) et de l'Ouest/Sud-Ouest (260 - 240 °). On remarque beaucoup de vents forts (> 8m/s) sur la période de mesure, hormis en provenance de la partie Sud/Est (200 – 120 °). Le profil de la rose des vents sur la période de campagne se rapproche des normales du mois de janvier pour les vents majoritaires. Cependant, les vents provenant du Sud, du Sud-Est et du Nord-Ouest ont été peu fréquents par rapport aux normales.

Dans ces conditions, les sites de mesure des quartiers Moulin Blanc (à l'Est de la zone d'étude) et de St Marc (site SNCF, au Nord zone d'étude) ont été particulièrement exposés aux émissions du port (sous l'influence du port par vent de Sud à Ouest). Le site Macé a été un peu moins exposé (vents de Sud-Est peu représentés).

Pendant la campagne **estivale**, les vents provenaient majoritairement du Nord-Est. On remarque quelques vents faibles en provenance du Nord-Ouest et du Sud-Ouest. Le profil de la rose des vents sur la période de campagne se rapproche des normales du mois de juin pour les vents provenant du Nord-Est. Cependant, les vents de Sud-Ouest (240 – 200 °) ont été moins fréquents par rapport aux normales.

Dans ces conditions, les quartiers Moulin Blanc et Saint-Marc, représentés par les sites Ty-Yann et SNCF, ont été faiblement exposés aux émissions du port (peu de vent de Sud-Ouest). Le site Macé a été très peu exposé aux émissions du port (absence de vents de Sud-Est).

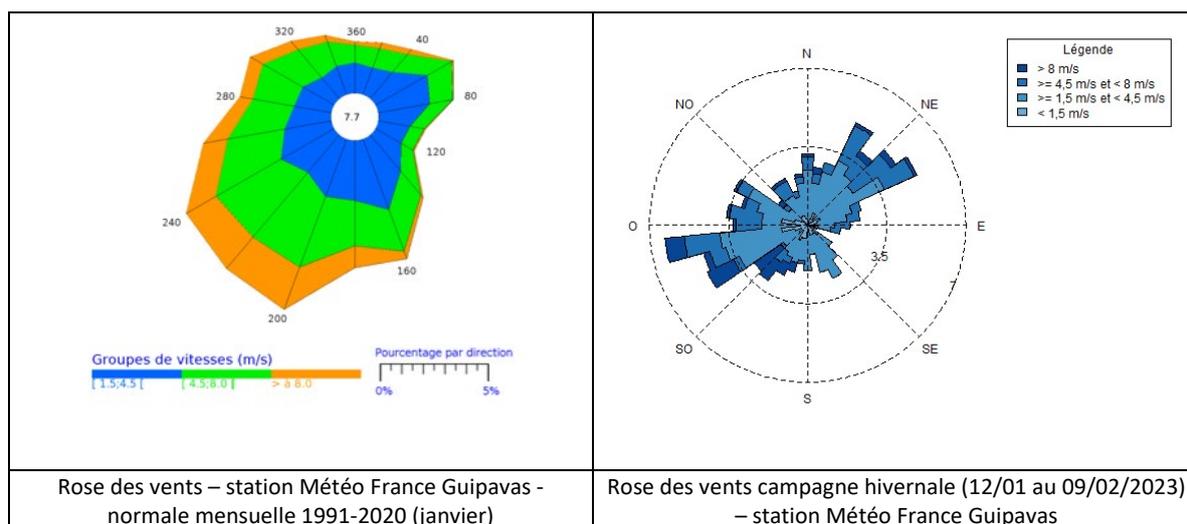


Figure 9 : Comparaison des conditions de vents pendant la campagne hivernale aux normales mensuelles (janvier)

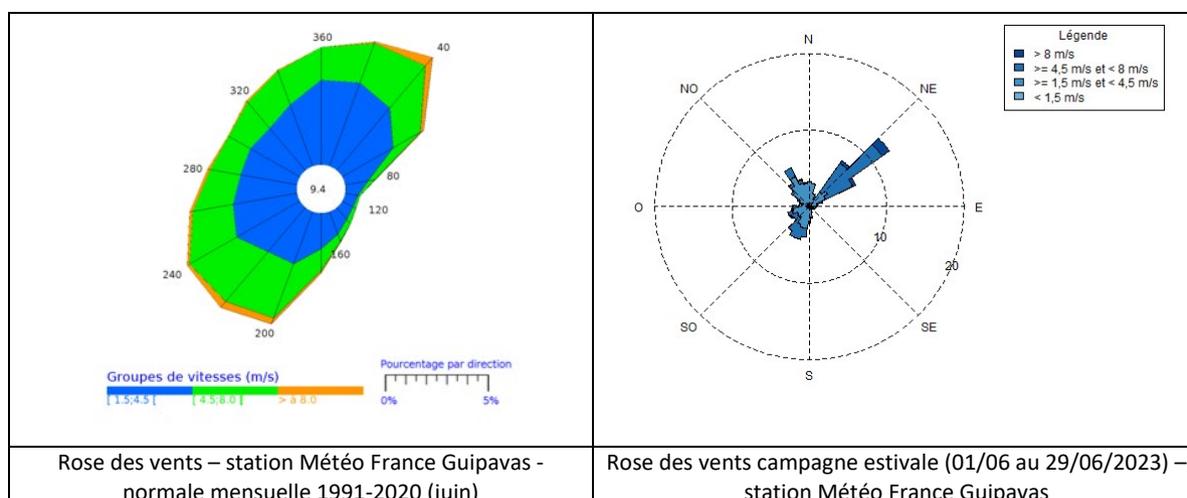


Figure 10 : Comparaison des conditions de vents pendant la campagne estivale aux normales mensuelles (juin)

On remarque que les conditions de vents pendant les deux campagnes de mesure ont été différentes par rapport aux normales mensuelles. Du fait de vents d'Est et Sud peu représentés, les parties Ouest et Nord de la zone d'étude ont été peu exposées aux émissions du port (quartier Brest centre et St Marc sous les vents du site Bünge notamment). En revanche, la partie Est (Moulin Blanc) a été davantage exposée, particulièrement pendant la campagne hivernale.

b) Températures et précipitations

La température est un paramètre influent sur les teneurs en polluants atmosphériques. Un important écart thermique entre la nuit et le jour, associé à des températures froides, favorise les phénomènes d'inversion thermique qui contribuent à l'accumulation des polluants (phénomène couramment rencontré au printemps).

Quant aux précipitations, elles sont favorables à un lessivage de l'atmosphère, permettant une diminution des concentrations en polluants.

Les Tableau 9 et Tableau 10 ci-dessous permettent de comparer les conditions de température et de précipitations rencontrées pendant les deux campagnes de mesure aux normales météorologiques (station Guipavas, entre 1991 et 2020).

La Figure 11 présente les évolutions des températures et des précipitations (en moyenne journalière) rencontrées pendant les campagnes de mesure.

On peut voir que les températures mesurées pendant les deux campagnes sont proches des normales (écart faible, inférieur à +/-15%). Sur la Figure 11 ci-après, on peut voir que les températures journalières présentent peu de variations pendant les périodes de mesure.

Les niveaux de précipitations enregistrés lors des deux campagnes ont été faibles par rapport aux normales météorologiques. Des écarts de -70 % (campagne hivernale) et de -60% (campagne estivale) ont été constatés par rapport aux normales. La Figure 11 montre que ces précipitations ont été groupées sur la première partie de la campagne hivernale (8 premiers jours). Lors de la campagne estivale, les précipitations ont été très ponctuelles (70% du cumul en deux jours).

Les précipitations ont été en moyenne moins importantes sur les deux campagnes par rapport aux normales avec des écarts importants. Etant donné que les précipitations contribuent au lessivage de l'atmosphère, les concentrations en polluants mesurées lors de cette étude pourraient être surestimées par rapport à des conditions normales.

Tableau 9 : Synthèse météorologique (campagne hivernale) et comparaison aux normales du mois de janvier.

	Normales du mois de janvier (1991-2020)	Campagne (du 12/01 au 09/02/2023)	Ecart relatif
Température moyenne (°C)	6,9	6,1	-13 %
Cumul des précipitations (mm)	143,8	84,9	-69 %

Tableau 10 : Synthèse météorologique (campagne estivale) et comparaison aux normales du mois de juin.

	Normales du mois de juin (1991-2020)	Campagne (du 01/06 au 29/06/2023)	Ecart relatif
Température moyenne (°C)	15,0	17,4	+14 %
Cumul des précipitations (mm)	59,8	37,9	-58 %

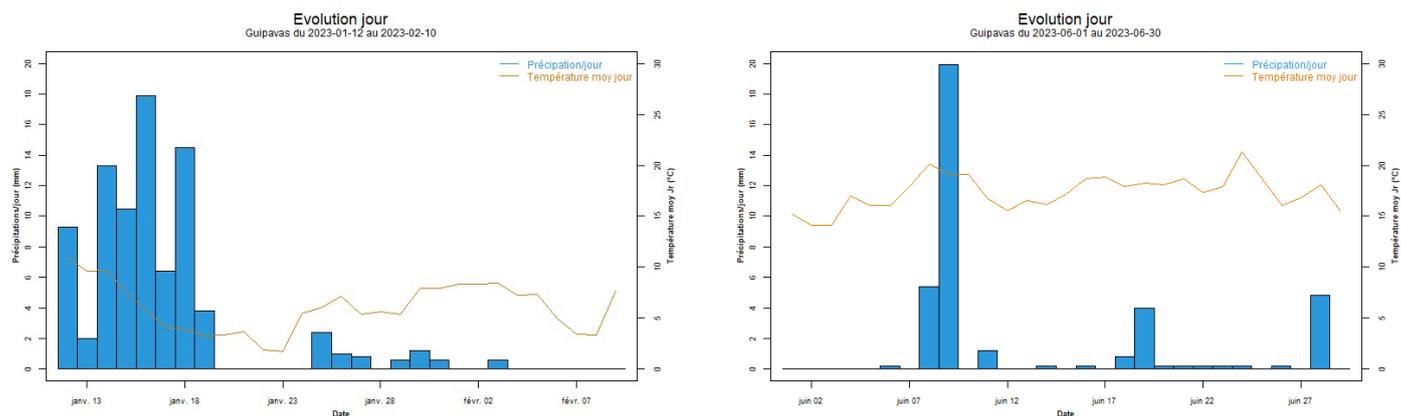


Figure 11 : Evolution des températures et des cumuls de précipitations (moyenne journalière), campagne hivernale (gauche) et estivale (droite).

c) Synthèse

Pendant les deux campagnes de mesure, la partie Ouest de la zone d'étude a été peu exposés aux émissions du port (quartier Brest centre). En revanche, le quartier Moulin Blanc était normalement exposé, en particulier lors de la campagne hivernale avec des vents forts du Sud-Ouest. Les vents provenant du Sud étaient très faibles par rapport aux conditions normales, ce qui a diminué l'exposition des quartiers au Nord du port (notamment au site Bünge).

Les précipitations ont été en moyenne moins importantes sur les deux campagnes par rapport aux normales. De ce fait, les concentrations en polluants mesurées lors de cette étude pourraient être surestimées par rapport à des conditions normales.

Il est difficile de quantifier l'impact des conditions météorologiques sur les mesures réalisées lors de cette campagne. De plus, cet impact dépend du type de polluant considéré (particules / gaz) et peut-être cumulé ou annulé en fonction de l'occurrence des différents paramètres favorables ou défavorables.

IV2. Représentativité de l'activité du port pendant les campagnes de mesure

Cette partie a pour objectif d'évaluer le niveau d'activité de la zone portuaire, pendant les deux campagnes de mesure, par rapport à des indicateurs. Les données d'activités ont été fournies par la Chambre de Commerce et de l'Industrie (CCI) et par l'industriel BUNGE.

a) Zone de réparation navale

La réparation navale concerne 2 zones différentes :

- la Forme 1, à proximité du site P6 (pour les petits navires),
- les Formes 2 et 3 et les quais de réparation QR1 et QR4 (pour les gros navires).

Un indicateur de l'activité de ces zones de réparation est l'utilisation des grues pour le démontage et le carénage des navires.

Le graphique ci-dessous présente les durées mensuelles d'utilisation de ces grues (en heures) sur les zones de réparation navale pour les années 2023, 2022 et 2021. La moyenne mensuelle 2021-2022 est utilisée pour pouvoir comparer les niveaux mensuels 2023.

Sur les mois de campagne (janvier et juin 2023), les niveaux d'utilisation des grues sont au-dessus de la moyenne 2021-2022, ce qui montre que l'activité des zones de réparation navale étaient bien représentative sur les périodes de mesure.

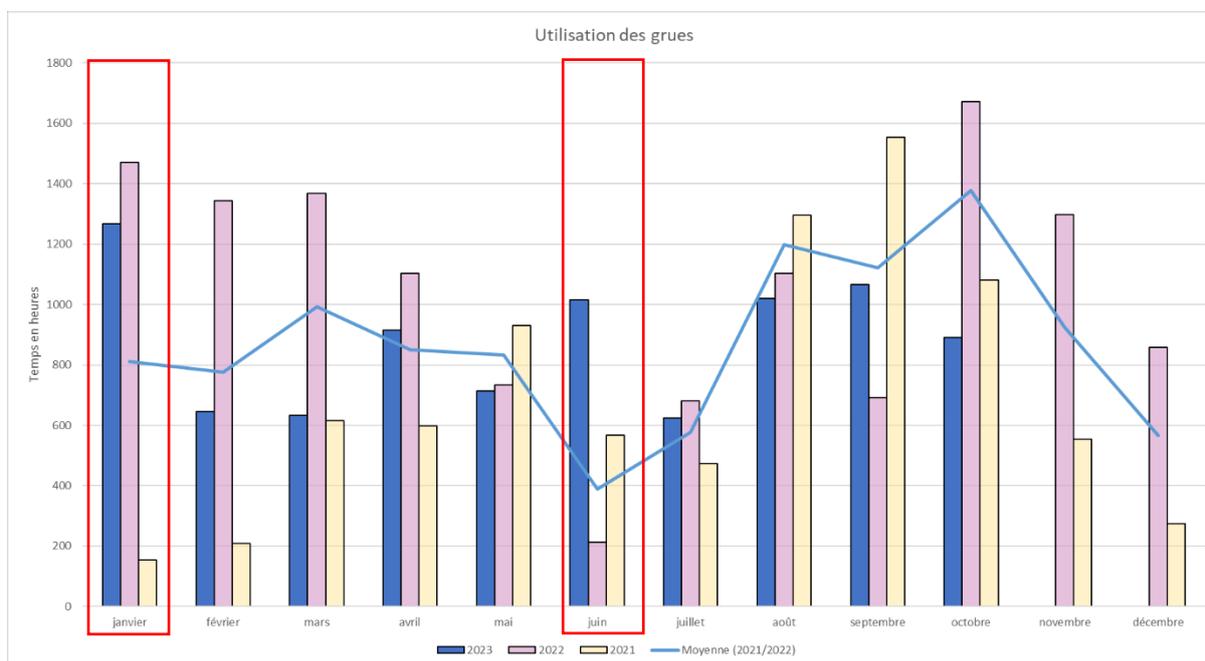


Figure 12 : Heure de fonctionnement des grues en moyenne mensuelle pour 2021, 2022 et 2023 [Données CCI].

b) Commerce

Les zones portuaires principalement concernées par le commerce sont : la plateforme multimodale, le 6^{ème} bassin, le 5^{ème} bassin, le poste sablier, les postes Gaz-hydrocarbure et le quai EMR (Tableau 6).

Le transit concerne principalement 4 catégories de marchandises :

- Vrac non-agro (vrac solides) : ciment, copeaux de bois, sable, CSR, autres pierres, ferrailles
- Matières premières agricoles :
 - Vrac solide : graines de soja et de colza, tourteaux de soja, de colza, de palmistes, de tournesol, phosphates, divers (maïs, blés, orge, etc.)
 - Vrac liquide : huiles de soja et de colza, Viprotal/huile de palme
- Energie (vrac liquide) : pétroles raffinés, avitaillement, Gaz liquéfiés biocarburant
- Divers (marchandise divers) : conteneurs, pommes de terre, polder, EMR.

Parmi ces marchandises, les vracs solides sont susceptibles d'émettre des particules (fines et/ou sédimentables) à proximité de la zone de transit.

La Figure 13 présente une comparaison du transit de marchandise (import et export mensuelle) de l'année 2023 avec l'année 2022. Dans ce graphique, les vracs solides sont séparés des autres marchandises. Les vracs solides représentent environ la moitié du transit de marchandises.

Lors des deux campagnes de mesure (janvier et juin 2023), les transits mensuels de marchandises totales sont proches de ceux de 2022. Les deux mois semblent normaux par rapport aux transits mensuels moyens.

En revanche, le transit de vrac solide a été moins important en janvier 2023 par rapport à janvier 2022 et par rapport aux autres mois de mesure. La quantité de vrac solide en transit au mois de juin 2023 est comparable à celle de juin 2022 et aux autres mois de l'année.

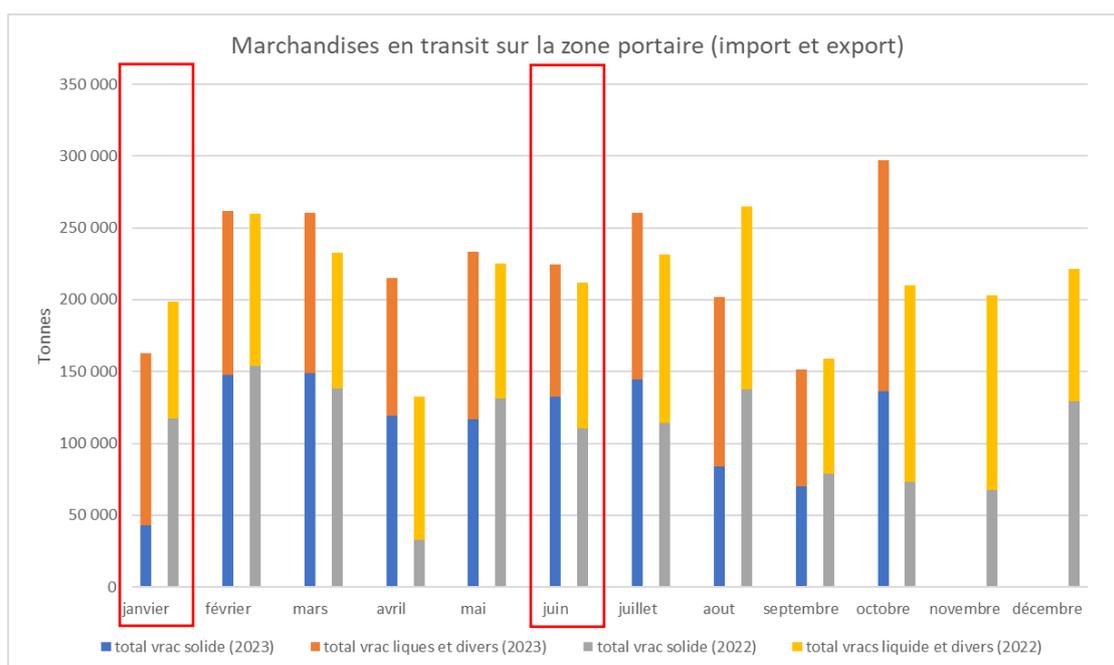


Figure 13 : Synthèse du transit (import et export) sur la zone portuaire (comparaison 2022 et 2023) [données CCI]

c) Bunge

Bunge est un important vendeur de soja destiné à l'alimentation animale dans le monde, le premier en Europe. L'activité de l'usine sur le port de Brest est la fabrication d'huiles et graisses brutes par trituration du soja ou du colza.

La production de l'usine dans des conditions normales de fonctionnement est d'environ 2 000 tonnes/jour et de 50 000 à 60 000 tonnes/mois. L'usine a un fonctionnement régulier sur l'année avec peu de variation dans la production. Une période d'arrêt technique a lieu chaque année entre septembre et octobre.

Lors des campagnes de mesure, l'usine a eu une activité jugée normale avec 47 000 tonnes de soja et de colza trituré pendant la campagne hivernale et 52 000 tonnes de soja trituré pendant la campagne estivale.

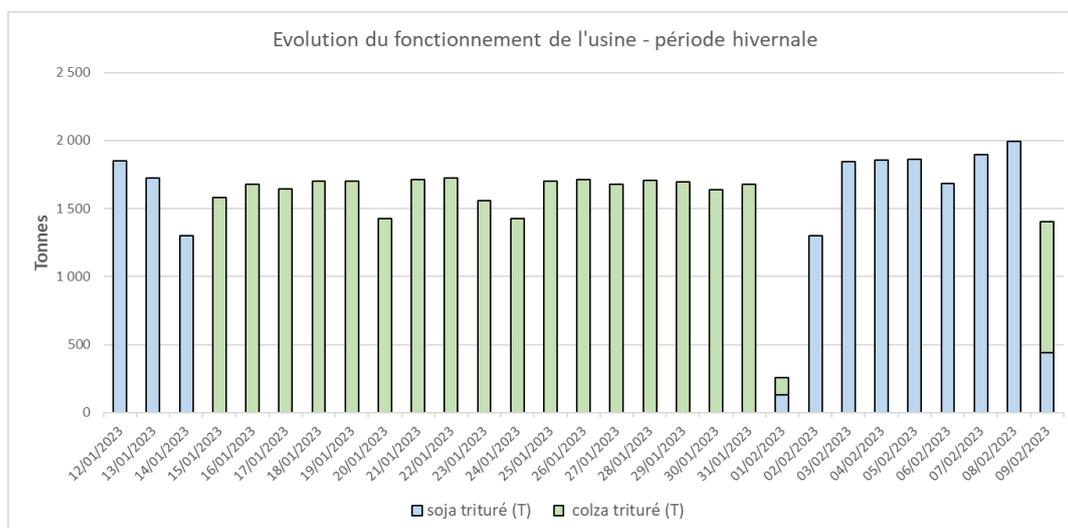


Figure 14 : Evolution du fonctionnement de l'usine (trituration en tonnes) – période de mesure hivernale [Données Bunge]

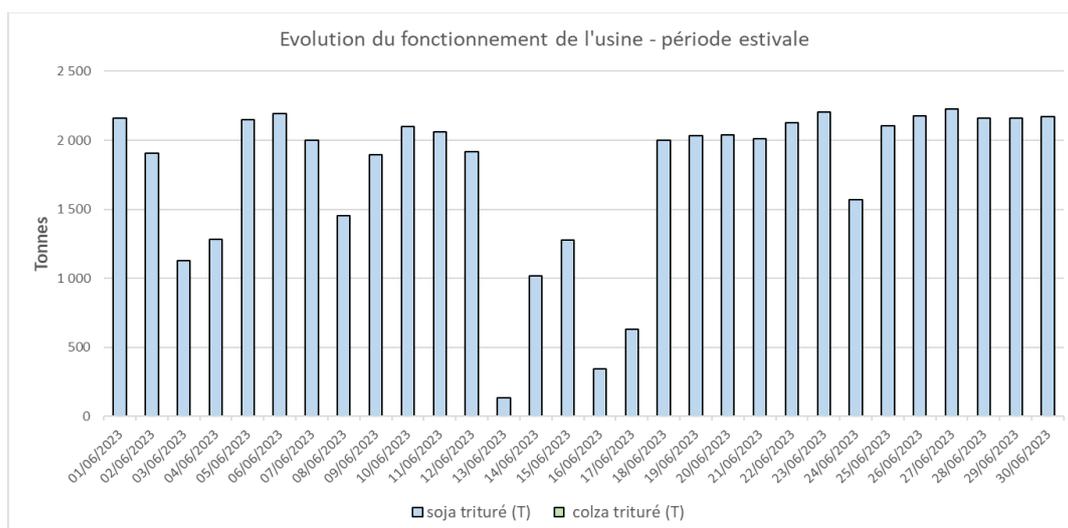


Figure 15 : Evolution du fonctionnement de l'usine (trituration en tonnes) – période de mesure estivale [Données Bunge]

d) Synthèse de la représentativité de l'activité du port pendant les campagnes de mesure.

Les données d'activités présentées précédemment ne sont pas exhaustives au vu des nombreuses activités exercées dans la zone portuaire.

Réparation navale : le fonctionnement des grues a été retenu comme indicateur du niveau d'activité de la réparation navale. L'activité est jugée normale durant les deux campagnes de mesure (janvier et juin) au regard des moyennes des 3 dernières années. En été, l'activité des zones de réparation navale était bien supérieure à celle des deux années précédentes. En hiver, l'activité est proche de l'année précédente (2022) mais très supérieure à 2021.

Commerce : La manipulation de produits solides à l'origine possible d'envols de particules a été retenu comme indicateur du niveau d'activité de la partie commerciale du port. Le transit de vrac solide a été moins important en janvier 2023 par rapport à janvier 2022 et par rapport aux autres mois de l'année. En revanche, le transit estival de vrac solide de juin 2023 est proche de celui de 2022.

Entreprise Bunge : La production de l'usine est soumise à peu de variation, à part lors de l'arrêt technique en septembre/octobre. L'activité de l'usine pendant les deux campagnes de mesure est donc jugée normale.

V. RESULTATS ET INTERPRETATION

Une première partie présente la méthodologie de comparaison des résultats aux seuils de référence et le contrôle qualité des données de mesure. Les résultats des mesures des différents polluants sont détaillés par la suite.

V1. Seuils de référence

Les références suivantes sont utilisées pour l'interprétation des données :

- mesures d'autres stations du réseau de mesure d'Air Breizh ;
- seuils de référence (valeurs recommandées par l'OMS et seuils réglementaires).

a) Comparaison aux autres stations du réseau de mesure d'Air Breizh

Deux stations de mesure fixe de typologies différentes sont présentes à Brest (cf. Annexe 1) :

- Station Macé (typologie urbaine de fond) : mesure en continu des oxydes d'azotes, de l'ozone et des particules fines (dont les PM10). Cette station fait également partie de la zone d'étude.
- Station Desmoulins (typologie urbaine trafic) : mesure en continu des oxydes d'azote et des particules fines (dont les PM10).

Les données de mesure passive en dioxyde d'azote (NO₂) sont comparées à ces deux stations.

Les données de mesure en continu des particules fines (PM10) des sites « SNCF », « Ty-Yann » et « Macé » sont comparées à la station urbaine trafic « Desmoulins ».

b) Seuils réglementaire et valeurs guides de l'OMS

Les valeurs limites réglementaires et les valeurs guides de l'OMS seront également utilisées comme référence (cf. Tableau 8).

V2. Contrôle qualité des résultats

a) Contrôle qualité des mesures actives (analyseur ou préleveur)

Dans le cadre de la surveillance réglementaire, le taux de recouvrement des analyseurs sur une période donnée doit être supérieur à 90% pour permettre l'exploitation des données (Arrêté du 16 avril 2021⁷ relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant).

Le taux de recouvrement est calculé comme suit :

$$\text{Taux de recouvrement (tc \%)} = \frac{\text{nb de données analyseur}}{\text{nb total de données durant la période}} \times 100$$

⁷ Arrêté du 16 avril 2021 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant

Les taux de recouvrement des appareils de mesure en continu (présent sur les trois stations de mesure fixe) sont présentés dans le Tableau 11 ci-dessous.

Tableau 11 : Taux de recouvrement (Tc) des appareils (données horaires), pour les deux campagnes de mesure

	SNCF			Macé (UF*)		Ty-Yann	
	NO _x	PM10	SO ₂	NO _x	PM10	NO _x	PM10
Tc % (campagne hivernale)	96%	96%	96%	100%	100%	96%	96%
Tc % (campagne estivale)	94%	79%	96%	94%	100%	96%	96%

*UF : station Urbaine de Fond

La mesure en continu des PM10 à la station « SNCF » présente un taux de couverture de 79% sur la campagne estivale en raison d'une panne de l'appareil de mesure. Les résultats des mesures en PM10 seront traités dans la suite du rapport en prenant compte ce faible taux de couverture.

Les taux de recouvrement des autres appareils présents lors des deux campagnes sont tous supérieurs à 90 %, ce qui est satisfaisant pour l'exploitation des données de mesure.

b) Contrôle qualité des mesures passives

Le prélèvement par tube passif, bien qu'il constitue une méthode longuement éprouvée, n'est pas considéré comme une méthode de référence comme c'est le cas pour la mesure en continu par analyseur de NO₂ ou de SO₂. Afin de s'assurer que les résultats des mesures par tube passif sont fiables dans les conditions de l'étude, deux méthodes ont été utilisées :

- Intercomparaison des tubes : prélèvement en doublon pour chaque série de prélèvement (point 22);
- comparaison des tubes à la mesure de référence : prélèvement proche d'un analyseur de référence :
 - SO₂ : point 22 (site SNCF)
 - NO₂ : point 1 (site Macé) ; point 12 (site Ty-Yann) et point 22 (site SNCF).

Intercomparaison des tubes passifs

Le Tableau 12 ci-dessous présente les résultats d'intercomparaison pour les mesures passives (NO₂ et SO₂) au point 22. On peut voir que les mesures en NO₂ sont proches entre les deux doublons pour les 4 séries de prélèvement (< 10 %). L'écart moyen sur la période de la campagne ne dépasse pas 5 %, ce qui est très satisfaisant.

Pour le SO₂, les prélèvements ont été majoritairement en dessous de la limite de quantification (LQ = 0,8 µg/m³), à part pour le doublon 1 de la série 2 de la campagne estivale (0,8 µg/m³). Cette mesure étant très proche de la LQ, il n'est pas possible de quantifier l'écart entre le doublon 1 et le doublon 2 de cette série. Au vu des résultats de l'intercomparaison pour les mesures de SO₂, l'écart entre les tubes est jugé négligeable.

Tableau 12 : Intercomparaison des tubes passif (NO₂ et SO₂)

intercomparaison		Série 1	Série 2	Série 3	Série 4	Moyenne mensuelle
hiver						
SO ₂	doublon 1	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8
	doublon 2	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8
	écart relatif	/	/	/	/	/
NO ₂	doublon 1	9	17	14	15	14
	doublon 2	10	17	15	15	14
	écart relatif	-8%	-2%	-7%	-2%	-4%
été						
SO ₂	doublon 1	< 0,8	0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8
	doublon 2	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8
	écart relatif	/	/	/	/	/
NO ₂	doublon 1	4	7	8	8	7
	doublon 2	5	7	8	8	7
	écart relatif	-7%	-3%	6%	-1%	-1%

Comparaison à la référence

Le Tableau 13 ci-dessous présente les résultats des mesures passives (NO₂ et SO₂) comparés aux mesures de référence.

On peut voir que les mesures en **NO₂** sur les trois sites de mesure sont proches des mesures de référence avec un écart de concentration ne dépassant pas 1 µg/m³, ce qui est satisfaisant.

Pour le **SO₂**, les prélèvements passifs ont été majoritairement en dessous de la limite de quantification (LQ = 0,8 µg/m³) sur les deux campagnes de mesure. Les mesures de l'analyseur automatique ont été majoritairement en dessous de la limite de quantification (LQ = 1,3 µg/m³) lors de la campagne hivernale.

Les niveaux mesurés sont très proches des limites de quantification et bien inférieurs aux valeurs seuils de référence : valeur guide de l'OMS = 20 µg/m³ (en moyenne annuelle). Les écarts entre les mesures sont considérés comme étant négligeables.

Tableau 13 : Comparaison de la mesure passive avec la mesure en continu (référence)

Comparaison à la référence		Mesures passives	Station de référence	Ecart relatif
hiver				
NO ₂	site P1 (Macé)	20	19	5%
	site P12 (Ty-Yann)	18	18	3%
	site P22 (SNCF)	14	13	10%
SO ₂	site P22 (SNCF)	< 0,8	< 1,3	/
été				
NO ₂	site P1 (Macé)	8	8	1%
	site P12 (Ty-Yann)	9	10	-8%
	site P22 (SNCF)	7	8	-13%
SO ₂	site P22 (SNCF)	< 0,8	1,6	/

V3. Résultats des mesures en dioxydes d'azote (NO₂)

Les mesures passives et automatiques du NO₂, réalisées lors des deux campagnes de mesure, sont présentées dans cette partie.

a) Evolution spatiale des niveaux en dioxyde d'azote (NO₂)

Les concentrations moyennes en NO₂ mesurées avec les tubes passifs et les analyseurs sont présentées dans le tableau suivant (Tableau 14). La moyenne des deux campagnes de mesure permet de calculer une **moyenne annuelle estimée**. La valeur obtenue peut ainsi être comparée à la **valeur limite réglementaire pour la protection de la santé humaine (40 µg/m³)**.

Les résultats par campagne et par série de mesure sont présentés en ANNEXE 4.

On remarque que les sites P24 ; P5 et P14 se démarquent par rapport aux autres. Les niveaux rencontrés sur ces sites sont supérieurs à ceux de la station urbaine trafic Desmoulins.

Tableau 14 : Résultats des mesures en NO₂ sur les deux campagnes.

[NO ₂] (µg/m ³)	Campagne hiver	Campagne été	Moyenne annuelle estimée
P24	33	24	29
P5	33	17	25
P14	30	18	24
* Desmoulins - UT	32	15	23
P4	27	15	21
P30	24	17	21
P29	27	12	20
P9	27	12	19
P15	24	15	19
P28	23	15	19
P3	25	10	18
P6	23	12	18
P13	23	10	17
P7	21	11	16
P32	19	13	16
P26	22	10	16
P8	22	10	16
P27	19	11	15
P2	21	10	15
P10	21	9	15
P25	20	10	15
P20	18	9	14
P1	20	8	14
* P12 (Ty-Yann)	18	10	14
P12	18	9	13
P11	19	8	13
* P1 (Macé - UF)	19	8	13
P31	16	9	12
P16	14	9	12
P17	15	8	11
P19	16	7	11
P21	14	7	11
P22	14	7	11
* P22 (SNCF)	13	8	10
P18	13	7	10

* Analyseur de mesure fixe

Aucune des moyennes annuelles estimées à partir des résultats de mesure de ces deux campagnes ne dépasse la valeur limite pour la protection de la santé humaine ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Le Tableau 15 ci-dessous présente une synthèse statistique des séries de mesure des deux campagnes. On remarque que les concentrations moyennes mesurées sur la série 1 (campagnes estivale et hivernale) ont été plus faibles par rapport aux autres séries de mesure.

Tableau 15 : Statistiques des séries de mesure (NO_2 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Série 1	Série 2	Série 3	Série 4
Campagne estivale				
Moyenne	8	12	13	12
Max	23 (P24)	28 (P24)	24 (P24)	22 (P30)
Campagne hivernale				
Moyenne	16	24	23	22
Max	27 (Desmoulins)	45 (P24)	41 (P24)	33 (Desmoulins)

Les vitesses de vents relevées à la station MétéoFrance de Guipavas étaient fortes pour les deux premières séries de mesure, ce qui a sûrement accentué la dispersion du NO_2 sur ces périodes (Figure 16). Lors de la campagne estivale, les vents provenaient majoritairement du Nord-Est, à l'opposé de la zone portuaire. Lors de la campagne hivernale, les vents provenaient du secteur Nord-Ouest / Sud-Ouest. Pendant cette semaine de mesure (série 1 – période hivernale), les précipitations ont été très importantes (75 mm, voir Figure 11).

Ces conditions météorologiques ont pu contribuer aux faibles concentrations relevées sur la première semaine des deux campagnes de mesure.

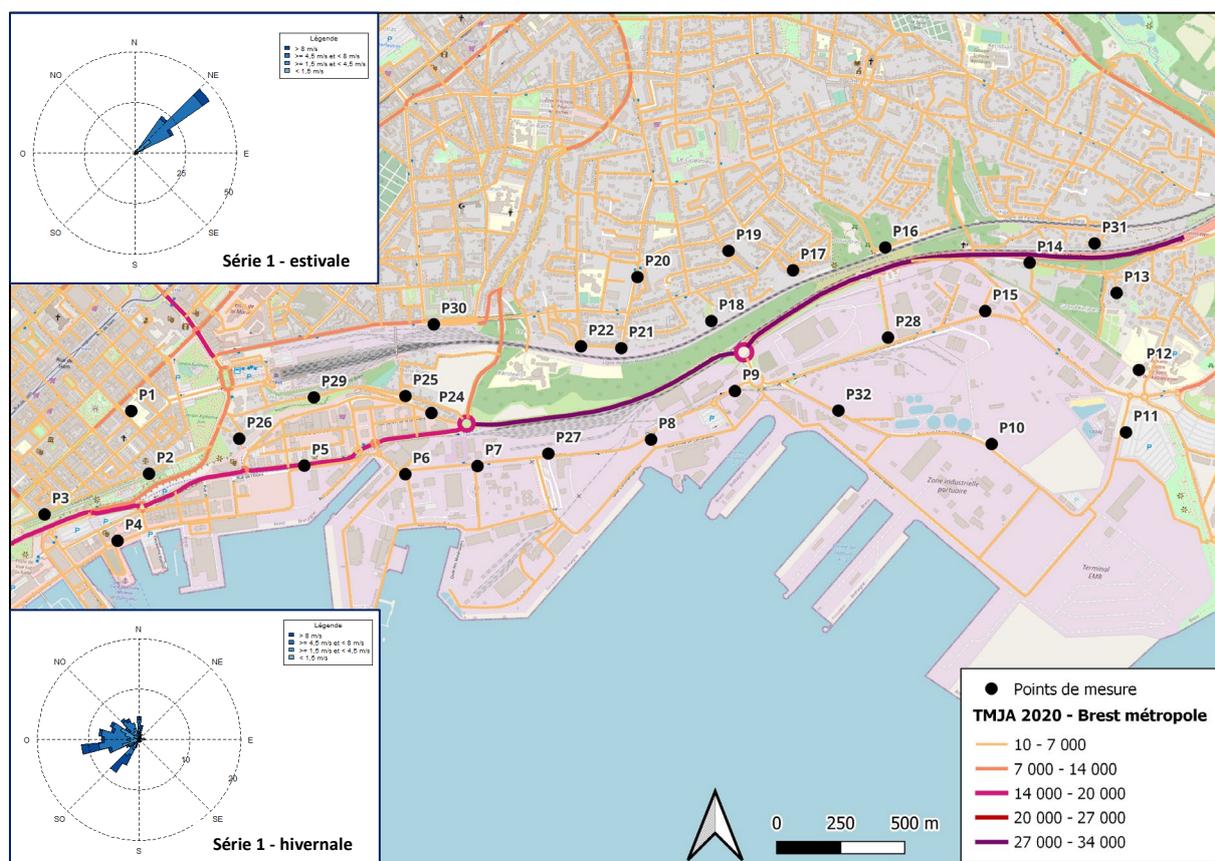


Figure 16 : Roses des vents pendant les premières séries de mesure des campagnes estivale et hivernale

La Figure 17 et la Figure 18 ci-après permettent de visualiser les différences de niveau entre les points de mesure sur la zone d'étude. La carte de la Figure 18 intègre le TMJA pour pouvoir comparer les niveaux de concentration en NO₂ avec les données de trafic routier.

Les sites P24 ; P5 et P14 présentent les niveaux les plus forts, probablement en raison de leur positionnement à proximité de voies de circulation très fréquentées (cf. Figure 8 et Figure 18). Les niveaux rencontrés sur ces sites sont supérieurs à ceux de la station Desmoulins (typologie urbaine trafic).

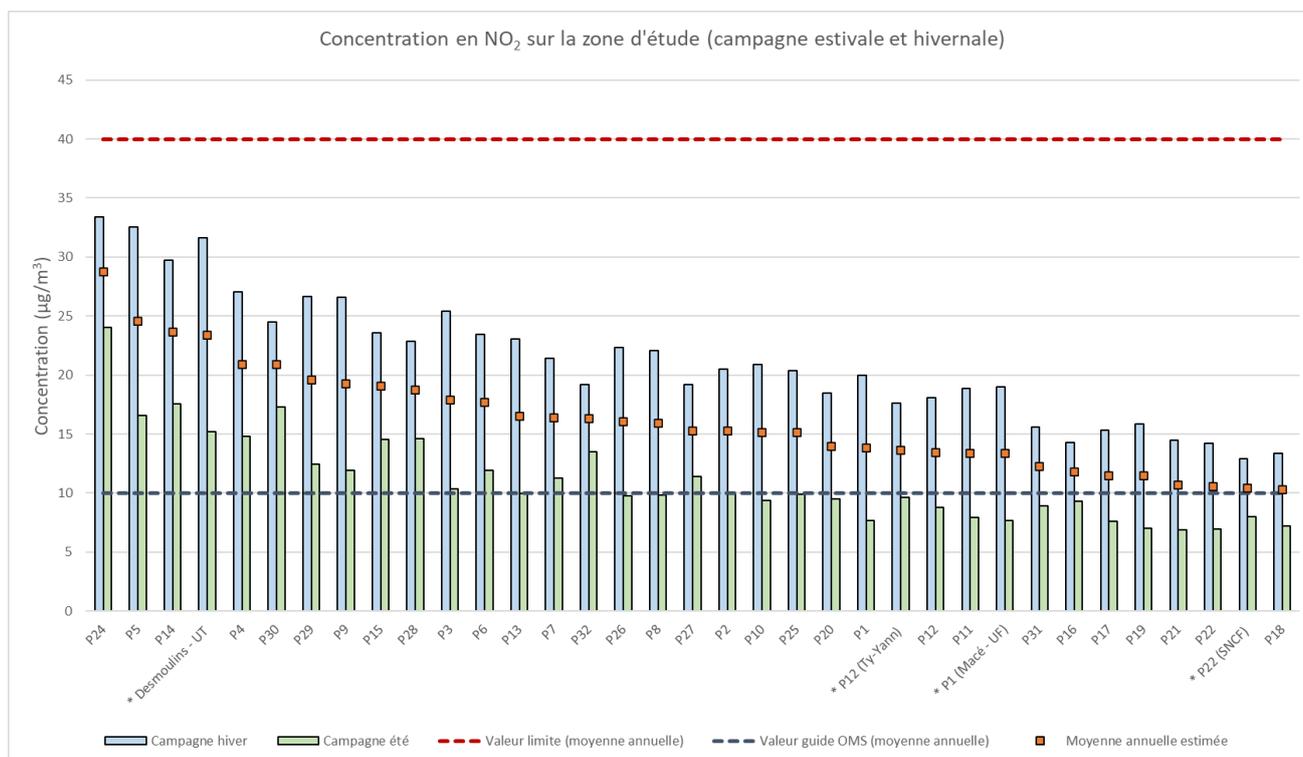


Figure 17 : Histogramme des moyennes annuelles estimées en NO₂ sur la zone d'étude (µg/m³)

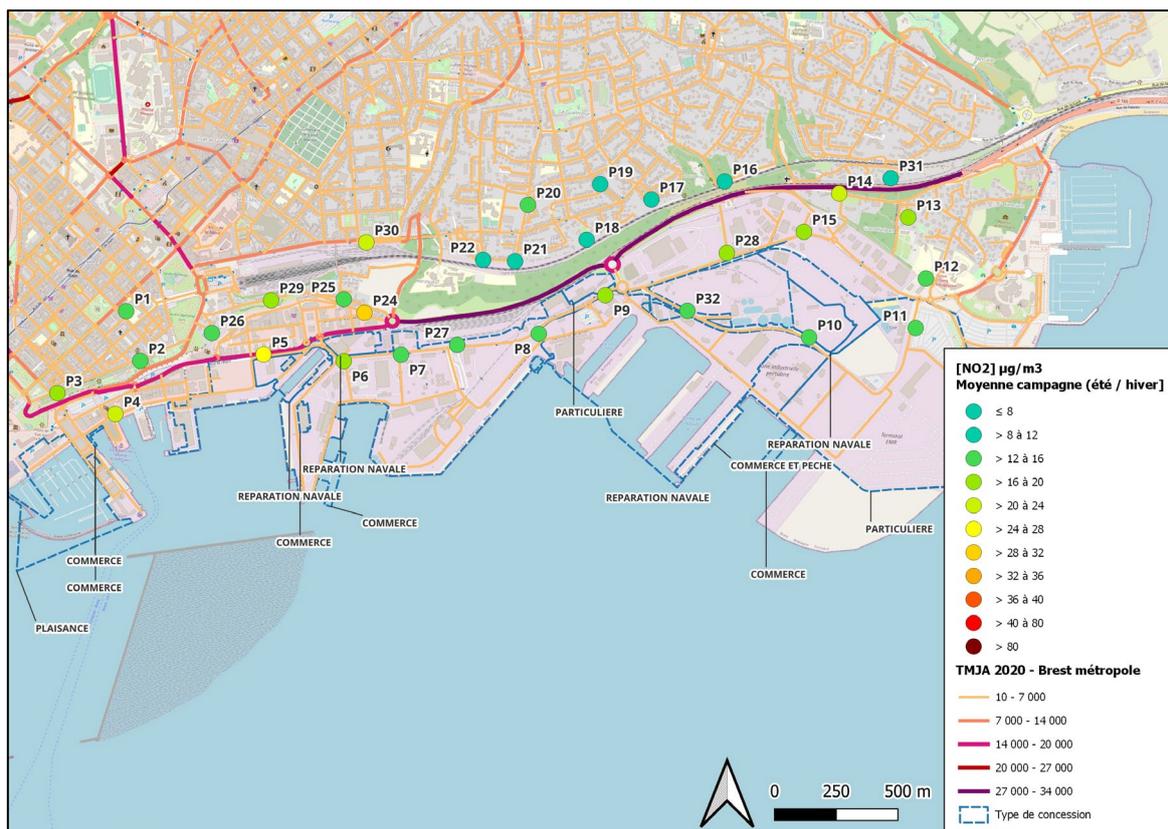


Figure 18 : Carte des concentrations moyennes annuelles en NO₂ estimées sur la zone d'étude (moyenne des deux campagnes en µg/m³)

Les sites P30 et P4 semblent également influencés par le trafic à proximité. Le site P4 est situé proche de plusieurs parkings (Parc à chaîne, 2^{ème} éperon) et de la zone commerciale identifiée comme étant fortement émissive en NO_x (> 1 t/an) (cf. étude préliminaire ; Tableau 1). Le site P30 est situé sur le boulevard Gambetta, proche d'un rond-point probablement soumis à des ralentissements de la circulation aux heures de pointes. Ces deux localisations sont favorables à des concentrations importantes en dioxyde d'azote.

b) Evolution temporelle des niveaux en dioxyde d'azote (NO₂)

L'objectif de cette partie est d'étudier les concentrations en NO₂ mesurées sur la zone d'étude avec un pas de temps plus fin que la partie précédente (moyenne journalière, horaire) pour pouvoir comparer les niveaux avec les valeurs de référence (valeur limite pour la protection de la santé et valeur guide de l'OMS). Les résultats des deux campagnes de mesure sont présentés dans cette partie.

Le Tableau 16 ci-dessous présente une synthèse statistique des mesures en NO₂ réalisées aux 2 sites de mesure fixe (Ty-Yann et SNCF) et aux stations de référence Macé et Desmoulin de typologie différente. Les moyennes et les maximum horaires sont comparés aux seuils de référence.

Il est à noter que le maximum journalier fait référence à la moyenne journalière la plus élevée sur la période de mesure.

Tableau 16 : Synthèse statistique des mesures en NO₂, campagne hivernale et estivale (µg/m³).

NO ₂	Point 1 (Macé – UF*)		Point 12 (Ty-Yann)		Point 22 (SNCF)		Desmoulins (UT**)	
	hivernale	estivale	hivernale	estivale	hivernale	estivale	hivernale	estivale
Données horaires								
Valeur limite (FR)	200 µg/m ³ en moyenne horaire							
1 ^{er} quartile	9,4	4,4	8,0	5,1	6,7	4,3	16,0	8,7
Médiane	15	6,1	13,0	7	10,3	6,1	27,2	13,9
Moyenne	19	7,6	17,6	9,6	12,9	8	31,6	15,5
3 ^{ème} quartile	25,1	8,9	23,8	10,2	16,3	9,5	43,5	20,4
Maximum horaire	74,8	55,7	77	66,7	57,3	50,7	96,9	51,5
Données journalières								
Valeur guide OMS	25 µg/m ³ en moyenne journalière							
Maximum journalier	38,0	13,1	24,8	20,4	25,2	14,1	49,6	24,2

* UF : station Urbaine de Fond

** UT : station Urbaine Trafic

Au vu des résultats de ce tableau, la valeur limite réglementaire pour la protection de la santé humaine en moyenne horaire n'a jamais été dépassée sur les deux campagnes, pour les 4 sites de Brest (max horaire : 97 µg/m³ à la station Desmoulins). Cependant, les 4 sites de mesure fixe ont atteints ou dépassés la valeur guide de l'OMS en moyenne journalière lors de la campagne hivernale (max journalier : 50 µg/m³ à la station Desmoulins).

Les moyennes estivale et hivernale du site Ty-Yann se rapprochent de celles mesurées à la station Macé. Pour le site SNCF, la moyenne estivale est proche mais la moyenne hivernale est plus faible que celle de la station Macé. Pour les deux campagnes de mesure, les niveaux moyens mesurés à la station Desmoulins sont plus forts par rapport aux 3 autres sites de mesure (en raison de sa typologie urbaine trafic).

La Figure 19 ci-après présente les box plot des mesures en NO₂ (données horaires) pour les deux campagnes. Les 1^{er} et 3^{ème} quartile montrent une plus grande variation de concentration lors de la campagne hivernale. Le dioxyde d'azote étant un polluant saisonnier, les concentrations rencontrées sont généralement plus importantes en hiver (températures plus basses, augmentation du trafic routier). Les point dit « outliers », en dehors de l'intervalle min-max du box plot, sont particulièrement nombreux à la station Ty-Yann pendant la campagne estivale.

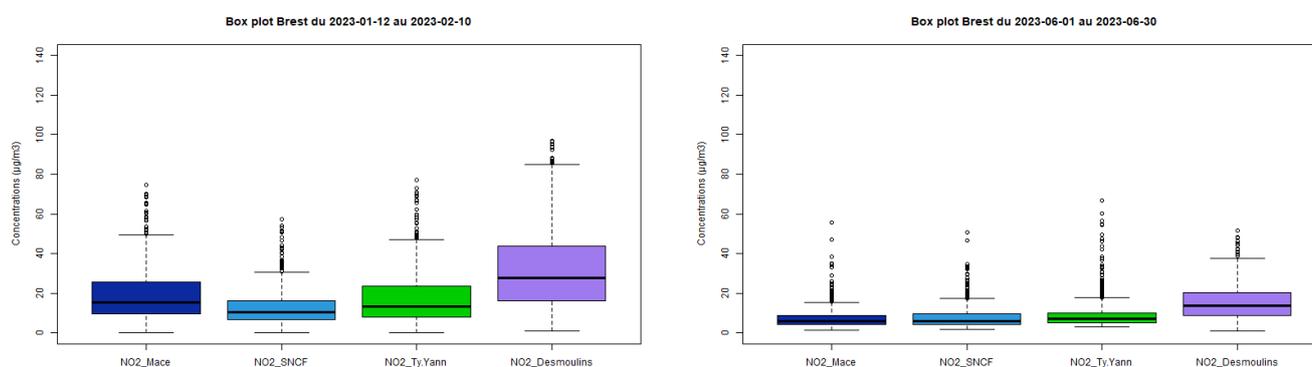


Figure 19 : Box plot des concentrations en NO₂ mesurées sur les deux campagnes (données horaires)

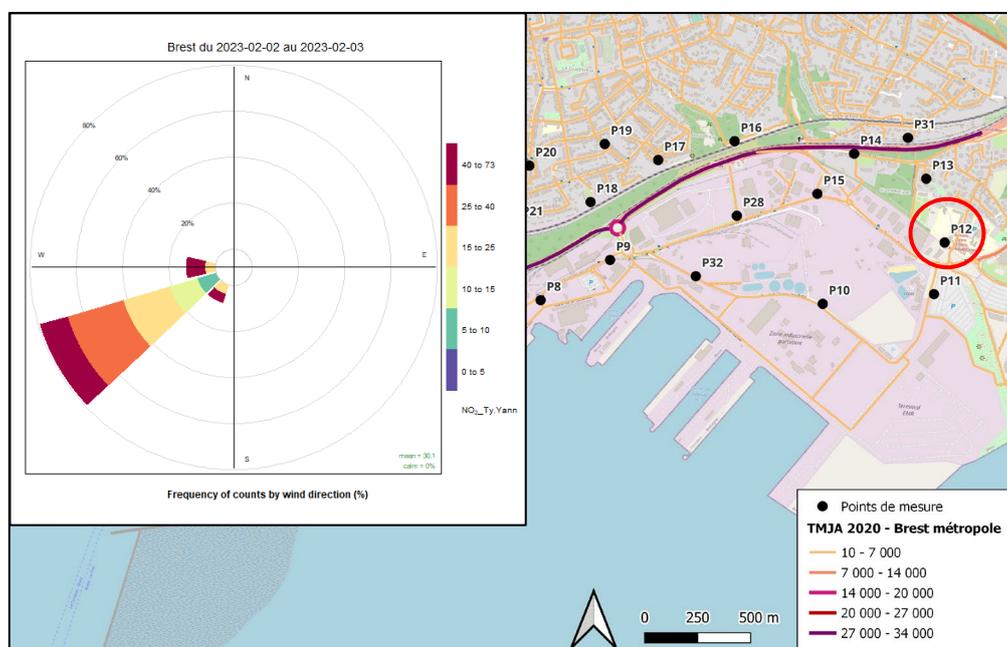
Les Figure 21 et Figure 22 présentent les évolutions journalières du NO₂ sur les 4 sites de mesure pour les deux campagnes. Les profils de la station Macé (P1 - station urbaine de fond) et de la station Desmoulins (station urbaine trafic) sont assez similaires pour les deux périodes

de mesure, avec un écart de concentration dû à la différence de typologie. Le site SNCF (P22) montre un profil de concentration en NO_2 assez similaire à la station Macé en été mais des concentrations plus faibles en hiver (moyenne = $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Le profil de la station Ty-Yann est assez similaire à celui de la station Macé, à l'exception de certains jours où les niveaux sont très différents.

Les courbes de concentration en NO_2 sur la campagne hivernale montrent beaucoup de variations de concentrations. On remarque des augmentations simultanées entre les sites de mesure le 20/01, le 23/01, le 27/01, le 30/01 et le 08/02/2023.

Le 02/02/2023, la concentration en NO_2 mesurée sur le site Ty-Yann (P12) se détache du profil de la station Macé et du site SNCF. A partir des concentrations en NO_2 et de la direction des vents (données horaires), il est possible d'avoir des informations sur la provenance des concentrations mesurées sous la forme d'une rose des pollutions.

La Figure 20 ci-après montre que les concentrations en NO_2 mesurées sur le site Ty-Yann le 02/02/2023 provenaient du Sud-Ouest, où se situe la zone industrielle portuaire.



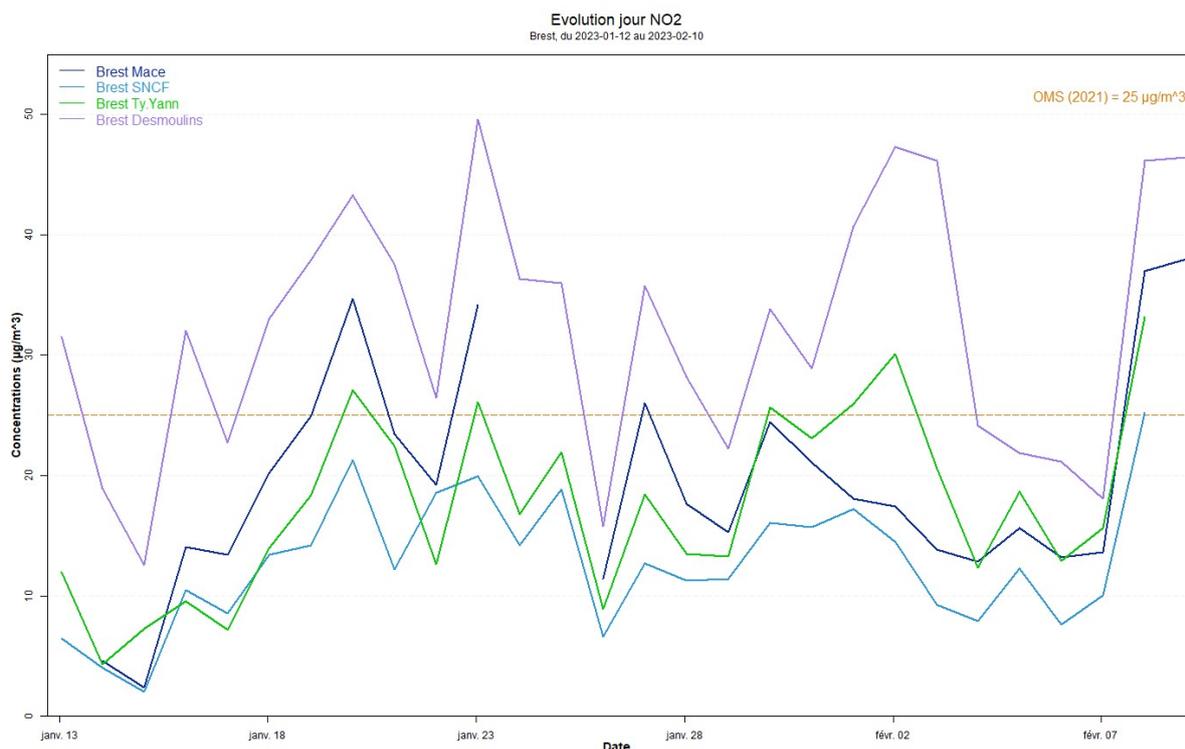


Figure 21 : Evolution journalière des concentrations en NO₂ lors de la campagne hivernale (µg/m³)

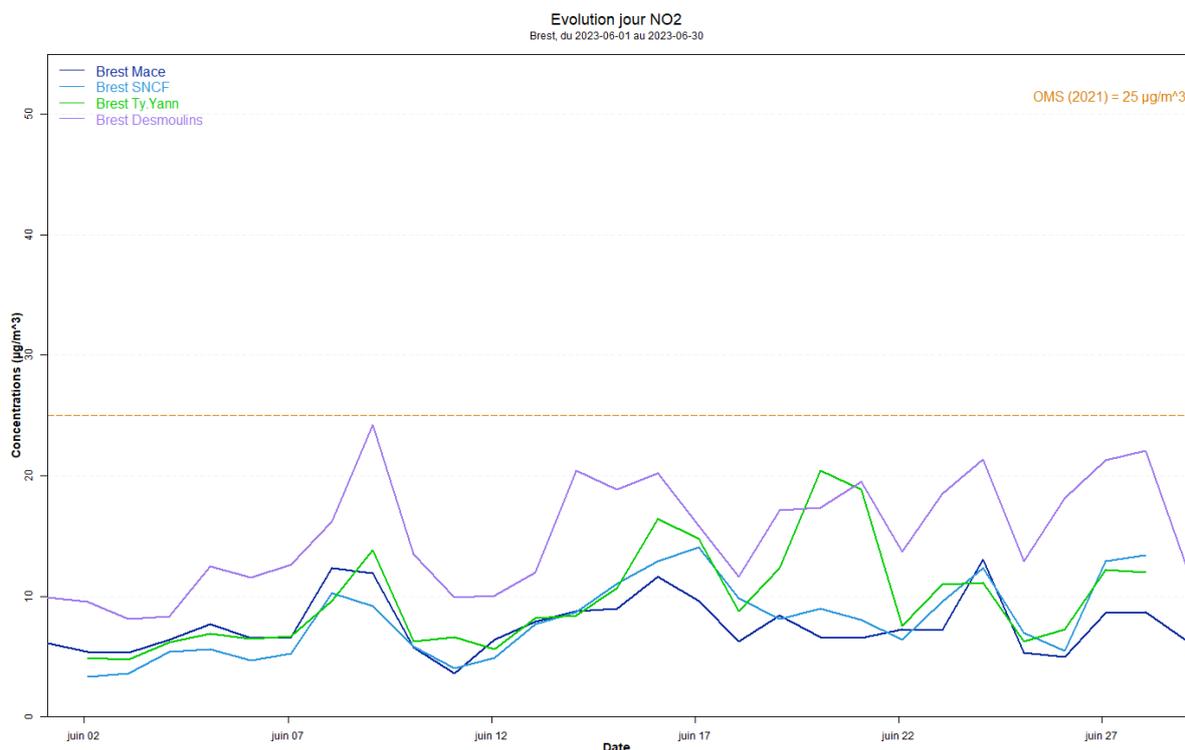


Figure 22 : Evolution journalière des concentrations en NO₂ lors de la campagne estivale (µg/m³)

Lors de la campagne estivale, la concentration en NO₂ mesurée sur le site Ty-Yann (P12) se détache du profil de la station Macé et du site SNCF le 20/06 et le 21/06/2023. La Figure 23 ci-dessous montre que les concentrations en NO₂ mesurées sur le site Ty-Yann le 20/06/2023

provenaient du Sud-Ouest, où se situe la zone industrielle portuaire et le terminal EMR. Le 21/06/2023, la provenance des concentrations les plus élevées est partagée entre le Sud-Ouest (210°) et le Sud, où se trouve un parking (proche du site P11) et le terminale EMR.

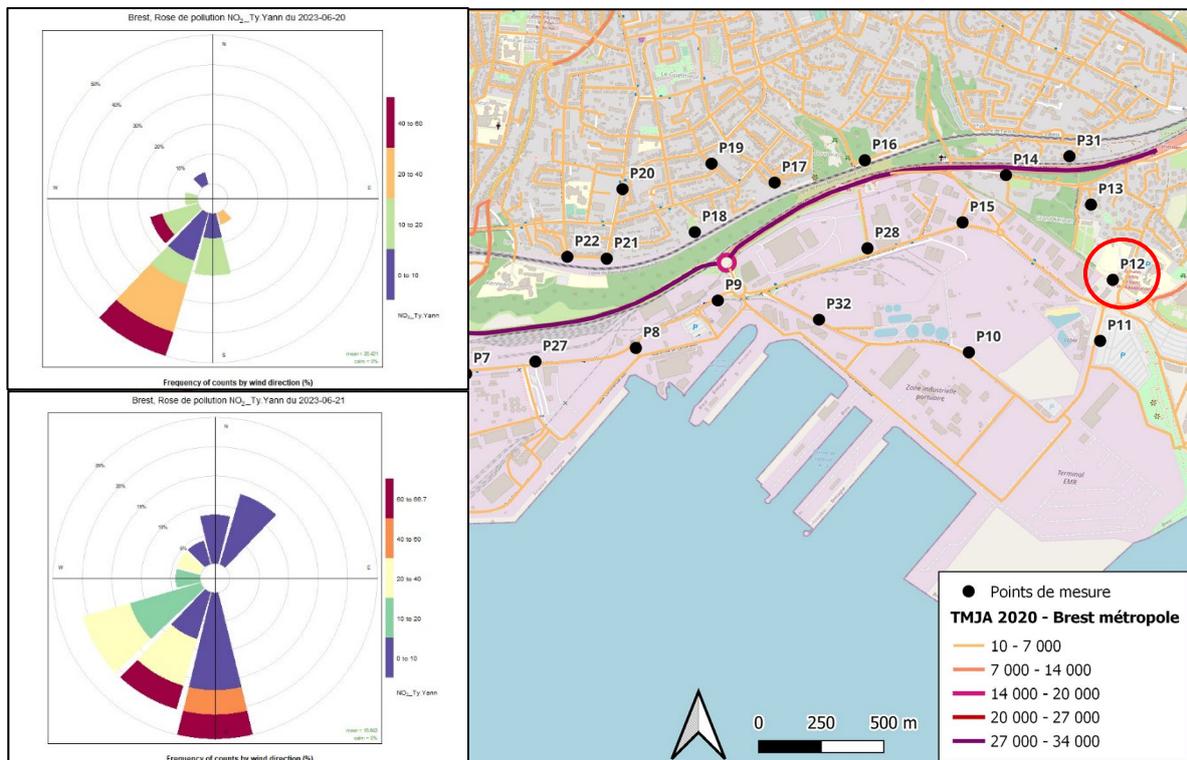


Figure 23 : Rose des pollutions du 20/06 (haut) et du 21/06/2023 (bas) à la station Ty-Yann (NO_2 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Les polar plot permettent de localiser les différences de concentration d'un polluant (échelle de couleur) en fonction de la direction et de la force du vent (cercles) (ANNEXE 3). Un pas de temps horaire est exploité afin d'étudier un lien potentiel entre ces différents paramètres.

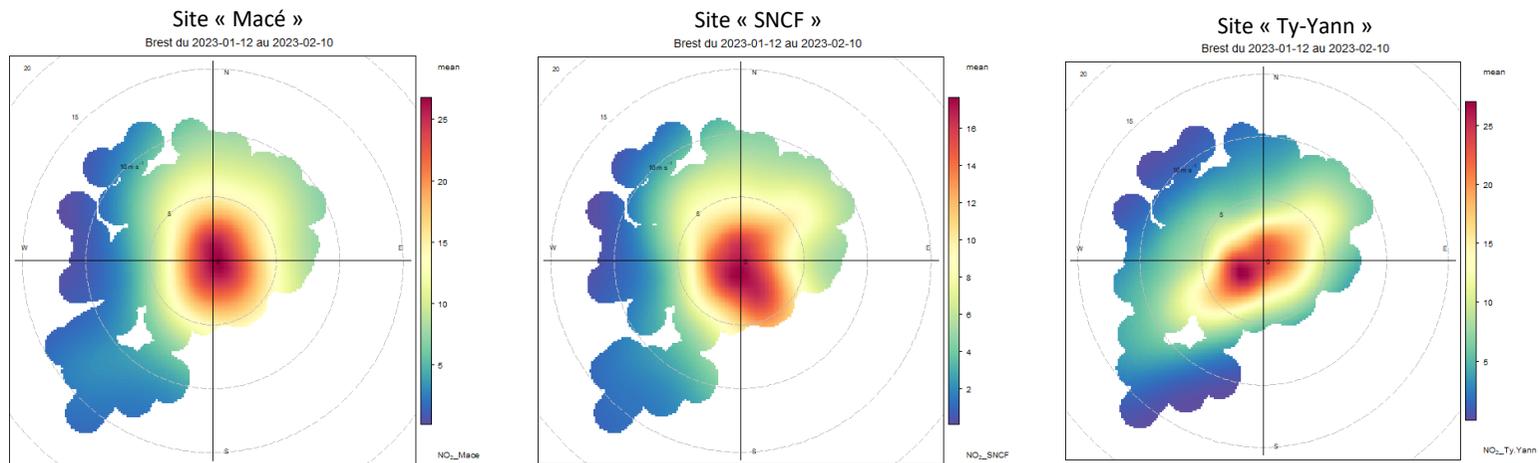
Les polar plot des deux campagnes de mesure sont présentés pour chacun des sites sur la Figure 24 ci-après. **Les échelles de couleur et de vitesse de vents sont différentes entre les figures, elles sont fonction des max mesurés.** On remarque que les vitesses des vents moyens mesurés sont bien plus importantes en hiver.

Les plus fortes concentrations en NO_2 lors de la campagne hivernale sont mesurées par vents faibles ($< 5 \text{ m/s}$) sur les 3 sites de mesure. Une exposition très localisée est visible, qui pourrait être dû à l'influence trafic à proximité des sites.

Sur les deux campagnes de mesure, on peut voir que les sites SNCF, Ty-Yann et Macé mesurent des niveaux plus forts lorsque les vents proviennent du Sud-Est (SNCF et Macé) et du Sud-Ouest (Ty-Yann), en provenance de la zone portuaire. Cette tendance est nettement plus visible en été, par vents plus faibles, avec une réduction de la contribution des transports.

Il est possible que la route qui longe la zone portuaire d'Ouest en Est influence les niveaux mesurés sur les sites de mesure fixe.

Campagne hivernale



Campagne estivale

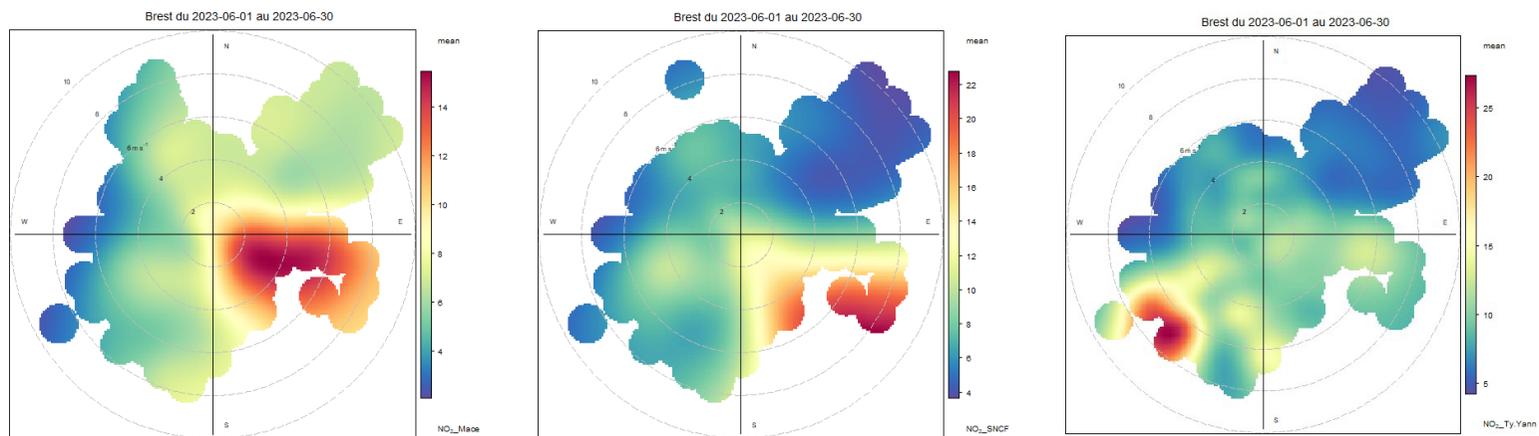


Figure 24 : Polar plot des concentrations mesurées en NO₂ (µg/m³) sur les sites Desmoulins, Macé, SNCF et Ty-Yann ; campagnes hiver et été

Conclusion :

La valeur limite pour la protection de la santé humaine en moyenne annuelle ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) a été respectée pour tous les sites de mesure.

La valeur limite en moyenne horaire ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$) n'a jamais été dépassée sur les deux campagnes, pour les 4 sites de Brest. Cependant, les niveaux enregistrés sur les 4 sites de mesure fixe ont atteint ou dépassé la valeur guide de l'OMS en moyenne journalière lors de la campagne hivernale.

Sur la zone d'étude, les concentrations les plus élevées en NO_2 sont mesurées à proximité des sites avec un fort trafic routier : rue de l'Elorne (P5), proche du rond-point Herman Melville (P24), proche de la D165 (P14), quai de la Douane (P4) et boulevard Gambetta (P30).

Concernant les sites de mesure fixe, les profils des concentrations en NO_2 mesurés quartier Moulin Blanc (Ty-Yann) et quartier Saint-Marc (SNCF) sont proches de celui de la station Macé (quartier Brest centre) de typologie urbaine de fond.

On constate un impact des émissions de la zone portuaire Est (zone industrielle, réparation navale) sur les mesures réalisées dans les quartiers St-Marc (site SNCF) et Moulin Blanc (Ty-Yann) lorsque les vents sont en provenance du port.

Le quartier Brest centre présente également des niveaux plus élevés lorsque les vents sont en provenance du port.

Sur le site SNCF, les concentrations en NO_2 n'ont pas été particulièrement élevées par vents de Sud-Ouest, en provenance de l'entreprise Bunge, qui est pourtant identifiée comme étant une source majoritaire de la zone portuaire.

Le trafic maritime a pu contribuer à l'augmentation des niveaux en NO_2 sur la zone d'étude, de manière plus diffuse.

V4. Résultats des mesures en COVNM

Un composé organique volatil est un composé principalement constitué d'atome de carbone et d'hydrogène. Ces composés, d'après leurs propriétés physico-chimiques, se trouvent à l'état de vapeur dans notre atmosphère. Le méthane est un COV à part en raison de sa grande abondance naturelle due à la dégradation des végétaux et aux rejets des ruminants. De ce fait, il est communément exclu avec la dénomination COV non méthaniques (COVNM).

Les COVNM sont présents dans les carburants, les peintures, les encres, les colles, les détachants, les cosmétiques et les solvants. Ils sont émis par l'industrie, la combustion (chaudière, transport...), mais également par la végétation (ex des terpènes).

Parmi cette famille de composés, seul le Benzène (C₆H₆) est concerné par la réglementation en air extérieur. Il est émis majoritairement par le secteur résidentiel (chauffage au bois) et les transports.

Les COVNM ont été prélevés à l'aide de tubes passif (Radiello 145) au niveau des sites P1 (Macé) ; P12 (Ty-Yann) et P22 (SNCF). Les tubes ont ensuite été envoyés au laboratoire pour analyse. Ci-dessous, le Tableau 17 présente les moyennes estivales, hivernales et la moyenne annuelle estimée en Benzène pour les 3 sites de mesure.

D'après les résultats de ce tableau, les concentrations mesurées sur les trois sites de mesure sont très inférieures à la valeur limite réglementaire. Les concentrations mesurées sur le site Ty-Yann sont un peu plus élevées en hiver (1,2 µg/m³) avec un max à 1,5 µg/m³. Les trois sites ont présenté peu de variation entre les séries de mesure.

Tableau 17 : Synthèse des résultats en Benzène - campagne estivale et hivernale (µg/m³)

Substances	N° CAS	Valeur limite pour la protection de la santé humaine en µg/m ³	Point 1 (Macé)			Point 12 (Ty-Yann)			Point 22 (SNCF)		
			estivale	hivernale	Moyenne annuelle estimée	estivale	hivernale	Moyenne annuelle estimée	estivale	hivernale	Moyenne annuelle estimée
Benzène	71-43-2	5	0,4	0,9	0,6	0,4	1,2	0,8	0,3	0,8	0,6

Les 3 tableaux ci-après présentent les résultats en COVNM pour les 3 sites de mesure avec leur numéro CAS et la valeur sanitaire de référence (VRS pour des expositions > 1 an) quand elle existe. Les valeurs de référence sont issues des préconisations de l'ANSES.

La moyenne annuelle estimée en Hexane mesurée sur le site SNCF est légèrement plus importante par rapport aux autres sites. L'entreprise Bünge avait été identifiée comme la principale source d'émissions (étude préliminaire) à travers ses émissions d'hexane utilisées dans le cadre du process.

Des concentrations élevées en Heptane 2,2,4,6,6 pentaméthyl ont été mesurées ponctuellement (1 série de mesure) sur les sites de Macé (série 1 – campagne hiver) et Ty-Yann (série 2 – campagne été). La moyenne annuelle estimée est la plus élevée sur le site de Ty-Yann. Peu de données sont disponibles sur les seuils de référence et de toxicité pour ce composé.

A part pour certains composés, les niveaux max mesurés sur les deux campagnes sont souvent plus élevés sur le site de Ty-Yann par rapport aux deux autres sites.

Les concentrations en COVNM sont très faibles et sont bien inférieures aux valeurs sanitaires de référence. Les niveaux en Hexane sont légèrement plus élevés sur le site SNCF, implanté au Nord de l'entreprise Bünge identifiée comme principal émetteur de la zone portuaire

dans la phase préliminaire. Plus généralement, les concentrations maximales mesurées sont légèrement plus élevées à Ty-Yann par rapport aux autres points de mesure. Dans l'étude préliminaire, les sites de stockage de gaz et de carburant (Primagaz, Imporgal et Stockbrest) avaient été identifiés comme source de COVNM.

Tableau 18 : Synthèse des résultats en COV - campagnes estivale et hivernale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – site Macé

Substances	N° CAS	Valeur sanitaire de référence (VRS en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Source de la VRS	Point 1 (Macé)				
				Moyenne estivale	Max estivale	Moyenne hivernale	Max hivernale	Moyenne annuelle estimée
Acide acétique	64-19-7			1,0	1,6	2,8	4,7	1,8
Hexane	110-54-3	3 000	ANSES, 2014	1,8	2,0	1,8	3,7	1,9
Toluène	108-88-3	19 000	ANSES, 2017	0,4	0,4	1,3	1,5	0,7
Ethylbenzène	100-41-4	1500	ANSES, 2016	0,1	0,2	0,5	0,6	0,3
mp xylène	108-38-3 + 106-42-3	100	ANSES, 2020	0,4	0,5	1,2	1,8	0,7
o xylène	95-47-6	100	ANSES, 2020	0,2	0,2	0,5	0,7	0,3
Heptane,2,2,4,6,6-pentamethyl	13475-82-6			1,4	2,4	3,0	8,0	2,3
Decane	124-18-5			1,9	2,7	1,2	1,9	1,9

Tableau 19 : Synthèse des résultats en COV - campagnes estivale et hivernale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – site Ty-Yann

Substances	N° CAS	Valeur sanitaire de référence (VRS en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Source de la VRS	Point 12 (Ty-Yann)				
				Moyenne estivale	Max estivale	Moyenne hivernale	Max hivernale	Moyenne annuelle estimée
Acide acétique	64-19-7			0,9	1,3	3,8	5,1	2,0
Hexane	110-54-3	3 000	ANSES, 2014	1,9	2,4	1,0	1,7	1,8
Toluène	108-88-3	19 000	ANSES, 2017	0,6	1,0	2,4	4,6	1,3
Ethylbenzène	100-41-4	1500	ANSES, 2016	0,5	1,2	0,9	2,3	0,8
mp xylène	108-38-3 + 106-42-3	100	ANSES, 2020	1,3	3,4	1,2	2,0	2,0
o xylène	95-47-6	100	ANSES, 2020	0,5	1,1	0,5	0,9	0,7
Heptane,2,2,4,6,6-pentamethyl	13475-82-6			4,2	11,3	1,2	1,9	5,6
Decane	124-18-5			2,4	3,1	1,8	2,7	2,4

Tableau 20 : Synthèse des résultats en COV - campagnes estivale et hivernale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – site SNCF

Substances	N° CAS	Valeur sanitaire de référence (VRS en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Source de la VRS	Point 22 (SNCF)				
				Moyenne estivale	Max estivale	Moyenne hivernale	Max hivernale	Moyenne annuelle estimée
Acide acétique	64-19-7			1,1	1,5	2,7	3,8	1,8
Hexane	110-54-3	3 000	ANSES, 2014	2,8	3,4	1,8	3,5	2,7
Toluène	108-88-3	19 000	ANSES, 2017	0,4	0,4	0,9	1,1	0,6
Ethylbenzène	100-41-4	1500	ANSES, 2016	0,2	0,2	0,3	0,4	0,2
mp xylène	108-38-3 + 106-42-3	100	ANSES, 2020	0,4	0,5	0,8	0,9	0,6
o xylène	95-47-6	100	ANSES, 2020	0,2	0,2	0,3	0,4	0,2
Heptane,2,2,4,6,6-pentamethyl	13475-82-6			2,1	3,3	1,1	3,6	2,2
Decane	124-18-5			2,0	3,0	1,2	2,3	2,1

V5. Résultats des mesures en métaux lourds (ML)

Les métaux lourds regroupent une famille de composés assez vaste (plomb, mercure, arsenic, nickel, cadmium, zinc, chrome...), la plupart se trouvant à l'état particulaire à température ambiante, à l'exception du mercure (état gazeux). Parmi cette famille de polluants, quatre sont concernés par la réglementation dans l'air ambiant en raison de leur toxicité : le plomb (Pb), l'arsenic (As), le cadmium (Cd) et le nickel (Ni).

Ils proviennent de la combustion des charbons, pétroles, ordures ménagères et de certains procédés industriels (métallurgie des métaux non ferreux notamment). Certains métaux tels que le cadmium, le mercure, le plomb ou encore le chrome sont retrouvés dans la fumée de tabac. Certaines activités spécifiques à la zone portuaire telles que la récupération et le broyage de métaux, la réparation navale, etc. peuvent être à l'origine d'émissions de métaux lourds dans l'air (cf rapport phase préalable).

Le site SNCF (quartier Saint-Marc) a été choisi pour rechercher la présence des métaux lourds dans l'air en raison de sa proximité aux zones de réparation navale :

- Sud-Ouest (Forme 1)
- Sud-Est (Forme 2 et 3, quai de réparation 1 et 4)

Les métaux lourds sont mesurés dans les particules PM10, prélevés sur filtre avec un appareil automatique (Partisol). Le Tableau 21 ci-dessous, présente les moyennes estivales, hivernales et la moyenne annuelle estimée en métaux lourds sur le site SNCF (P22). Ces résultats sont comparés aux moyennes annuelles 2022 du site urbain de fond de Rennes (Thabor - site de surveillance réglementaire des métaux lourds en Bretagne).

Tableau 21 : Résultats des mesures en métaux lourds sur le site SNCF (P22) (ng/m³)

	Moyenne mensuelle estivale	Max hebdomadaire estivale	Moyenne mensuelle hivernale	Max hebdomadaire hivernale	Moyenne annuelle estimée	Moyenne annuelle Rennes (2022)	Valeur cible	Valeur limite
Ni	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	20 ng/m ³	
As	0,24	0,28	0,17	0,31	0,20	0,19	6 ng/m ³	
Cd	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	5 ng/m ³	
Pb	1,50	1,90	1,40	2,20	1,45	1,00		500 ng/m ³

Les mesures de ML réalisées sur le site SNCF sont bien inférieures aux valeurs réglementaires en vigueur.

Les moyennes annuelles estimées sont très proches des moyennes annuelles (2022) mesurées sur le site urbain de fond de Rennes.

On remarque que la 4^e série de mesure de la campagne hivernale se détache légèrement avec un niveau maximal en plomb de 2,2 ng/m³.

Les vents de Sud-Est, en provenance de la zone de réparation navale, étaient très faibles lors des deux campagnes de mesure.

Dans les conditions particulières des deux campagnes de mesure, le quartier Saint-Marc semble faiblement exposé aux métaux lourds potentiellement émis par la zone portuaire.

V6. Résultats des mesures en dioxyde de soufre (SO₂)

Les mesures passives et automatiques du SO₂, réalisées lors des deux campagnes de mesure, sont présentées dans cette partie.

a) Evolution spatiale des niveaux en dioxyde de soufre (SO₂)

Les concentrations moyennes en SO₂ mesurées avec les tubes passifs et les analyseurs sont présentées dans le tableau suivant (Tableau 22). La moyenne des deux campagnes de mesure permet de calculer une moyenne annuelle estimée.

La limite de quantification pour les mesures passives est de 0,8 µg/m³. Pour les mesures automatiques sur le site SNCF (analyseur) la limite de quantification est de 1,3 µg/m³.

Les résultats par série de mesure sont présentés en ANNEXE 4

Tableau 22 : résultats des mesures max en SO₂ (µg/m³) sur les deux campagnes

[SO ₂] (µg/m ³)	Max hebdomadaire estivale	Max hebdomadaire hivernale
P28	3,9	3,1
P15	1,1	5,2
P6	< LQ	3,0
P5	1,3	1,0
*P22 (SNCF)	1,8	< LQ
P20	1,0	< LQ
P10	1,0	< LQ
P12	0,9	< LQ
P22	< LQ	< LQ
P29	< LQ	< LQ
P24	< LQ	< LQ
P30	< LQ	< LQ
P9	< LQ	< LQ
P16	< LQ	< LQ
P27	< LQ	< LQ
P18	< LQ	< LQ

* Analyseur de mesure fixe

Au vu de ces résultats, on remarque que les niveaux mesurés sur le site P28 ont été les plus importants pendant la campagne estivale par rapport aux autres sites de mesure. En effet, les séries 2, 3 et 4 ont présentés respectivement des concentrations de 3,9 ; 2,9 et 3,5 µg/m³ (ANNEXE 4).

Les sites de mesure ayant présenté les concentrations les plus importantes sont les suivants :

- site P6 : à proximité de la Forme 1 (réparation navale).
- site P15 et P28 : à proximité de l'usine PRIMAGAZ, qui a pour activité le commerce de gros de combustibles et de produits annexe.

Les niveaux mesurés sur le site P22 (SNCF) sont restés en dessous de la limite de quantification pendant la campagne hivernale.

La Figure 25 ci-dessous permettent de visualiser les niveaux de concentration en SO_2 (moyenne annuelle estimée) sur la zone d'étude.

Les niveaux mesurés sur la zone d'étude sont très faibles, aucun site de mesure ne se démarque par rapport à l'objectif qualité de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle.

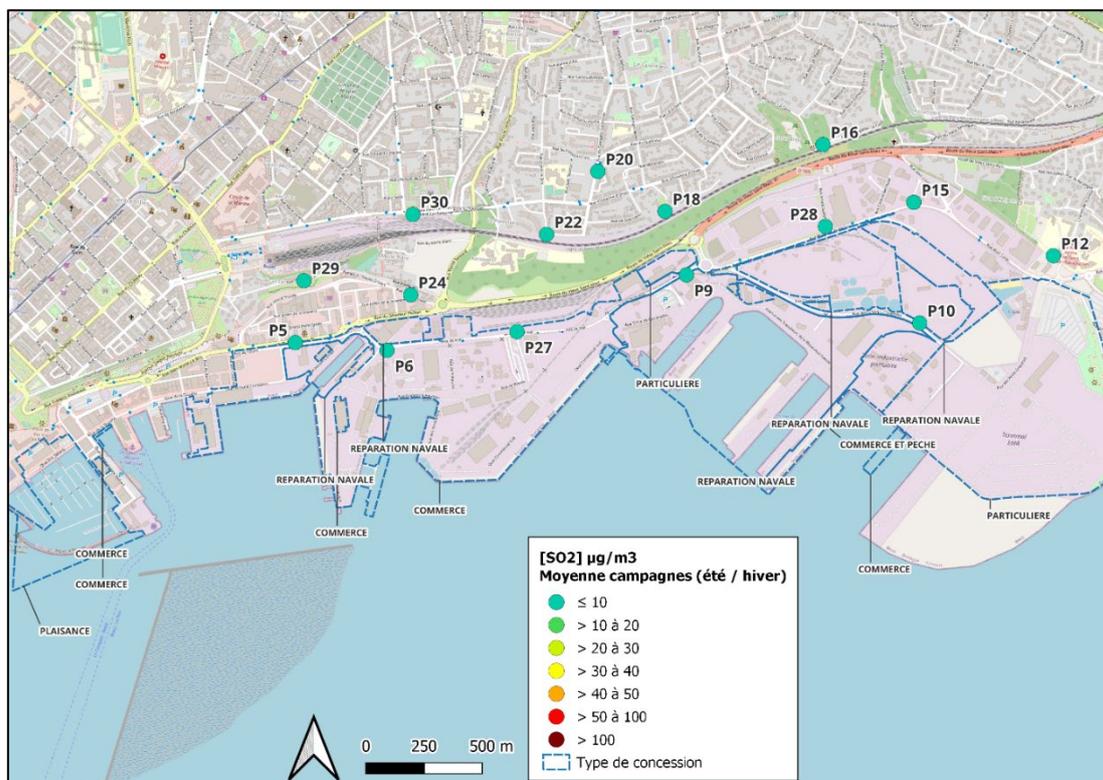


Figure 25 : Carte des concentrations en SO_2 rencontrées sur la zone d'étude – moyenne campagnes (été/hiver)

Proche des sources (P28 ; P15 ; P6), on constate un impact sur les niveaux en SO_2 , bien que modéré au regard des valeurs réglementaires. La décroissance des concentrations est rapide, aucun site de mesure riverain autour de la zone portuaire ne semble impacté.

b) Evolution temporelle des niveaux en dioxyde de soufre (SO_2)

Le Tableau 23 ci-dessous présente une synthèse statistique des mesures en SO_2 réalisées au point P22 (SNCF). Les moyennes et les maximum horaires sont comparés aux seuils de référence.

Les niveaux mesurés sur le site P22 (SNCF) sont restés en dessous de la limite de quantification ($\text{LQ} = 1,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) pendant la campagne hivernale. Ces mesures ne sont pas exploitables.

Les maximums horaires ($5,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) et journaliers ($2,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) de la campagne estivale sont bien inférieurs aux valeurs limites réglementaires (350 et $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Tableau 23 : Synthèse statistique des mesures en SO_2 , campagne hivernale et estivale ($\mu g/m^3$).

SO ₂	Point 22 (SNCF)	
	hivernale	estivale
Données horaires		
Valeur limite (FR)	350 $\mu g/m^3$ en moyenne horaire	
1 ^{er} quartile	0,1	0,9
Médiane	0,2	1,3
Moyenne	0,1	1,6
3 ^{ème} quartile	0,2	2,2
Maximum horaire	0,4	5,5
Données journalières		
Valeur guide OMS	125 $\mu g/m^3$ en moyenne journalière	
Maximum journalier	0,2	2,8

La Figure 26 présente les évolutions journalières du SO_2 sur le site SNCF pour la campagne estivale.

La courbe de concentration en SO_2 montre quelques légères variations de concentrations, notamment le 24/06/2023. Les niveaux sont très proches de la limite de quantification de l'analyseur.

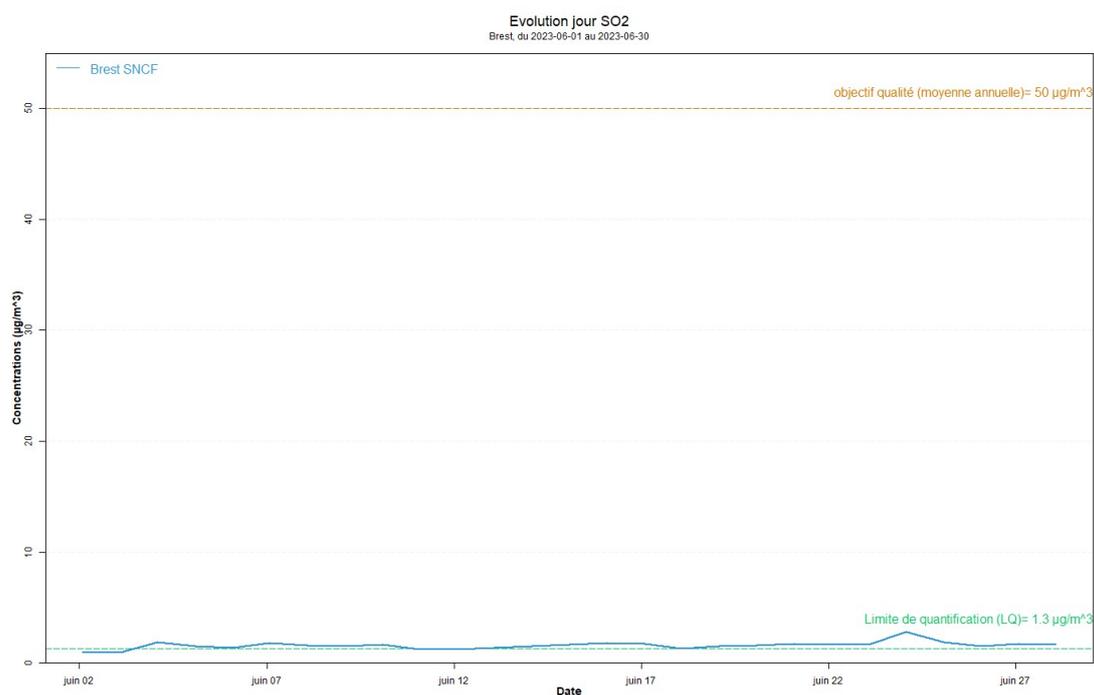


Figure 26 : Evolution journalière des concentrations en SO_2 lors de la campagne estivale ($\mu g/m^3$)

La Figure 27 présente le polar plot des concentrations (en moyennes horaires) en SO_2 mesurées sur le site SNCF pendant la campagne estivale.

On remarque que les concentrations les plus fortes sont mesurées par vents moyens (environ 8 m/s) du secteur Sud (190°), ce qui indique une influence lointaine, vers la zone portuaire. La plateforme multimodale et l'usine Büngé se trouve sur le même axe.

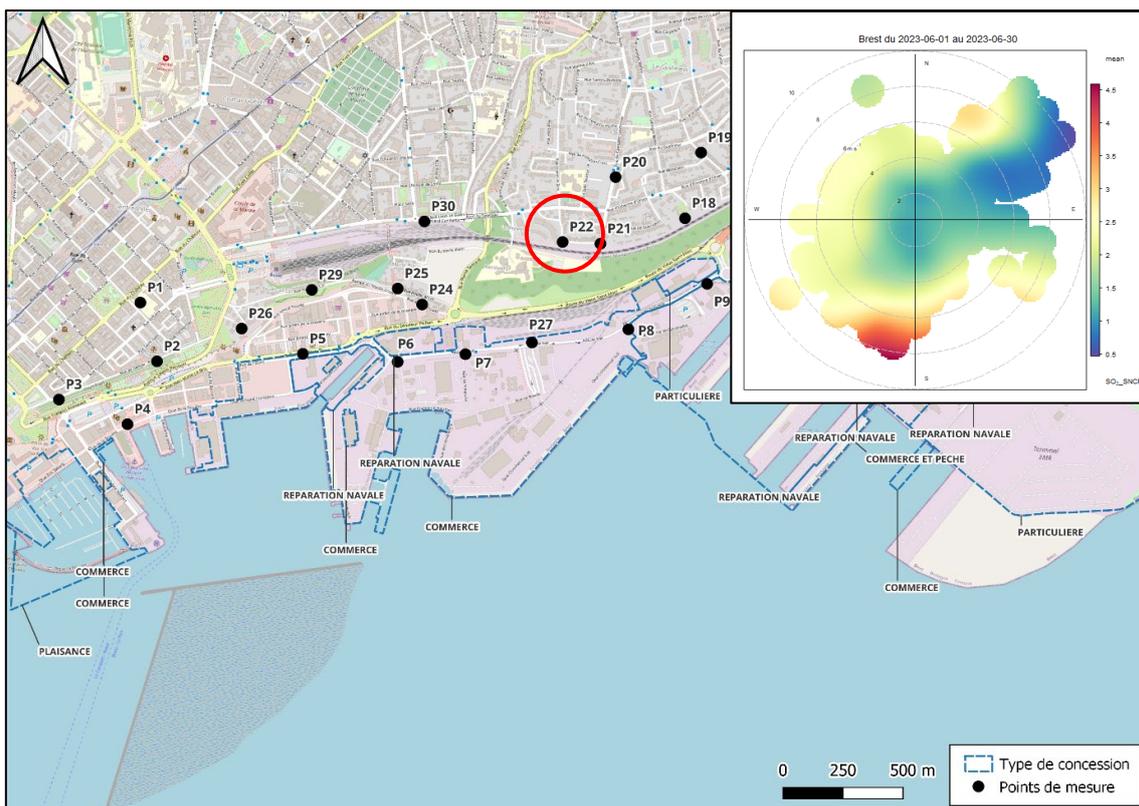


Figure 27 : Polar plot des concentrations mesurées en SO_2 ($\mu g/m^3$) sur le site SNCF, campagne estivale

Conclusion :

Les concentrations mesurées en SO_2 sur la zone d'étude sont très faibles au regard des valeurs limites réglementaires et proches des limites de quantification des appareils de mesure.

La partie Est du port, à proximité immédiate des sources (notamment stockage gaz), montre un léger impact sur les niveaux. La décroissance des concentrations est rapide et ne semble pas impacter les zones riveraines.

Une analyse plus fine, via la mesure en continu, permet de mettre en avant un léger impact sur les sites riverains (quartier St marc - site SNCF) dans des conditions particulières (vents provenant du Sud).

V7. Résultats des mesures en particules sédimentables

Les particules sédimentables ont été prélevées à l'aide de plaquettes DIEM (mesure passive) disposées sur la zone d'étude (23 points de mesure) pendant les deux campagnes de mesure (une série de prélèvement par campagne). Elles ont ensuite été envoyées au laboratoire pour analyse.

Les concentrations en particules sédimentables sont présentées dans le tableau suivant (Tableau 24). La moyenne des deux campagnes de mesure permet d'estimer une moyenne annuelle. La limite de quantification du laboratoire est de 2,0 mg, soit environ 14 mg/m²/jour.

Tableau 24 : résultats des mesures en particules sédimentables sur les deux campagnes (mg/m²/jour)

Particules sédimentables	Campagne hiver	Campagne été	Moyenne annuelle estimée
10	58	162	110
24	73	133	103
32	46	150	98
7	41	144	93
9	36	107	71
15	37	105	71
30	20	113	67
28	22	107	65
14	31	95	63
6	27	89	58
27	36	68	52
12	14	83	49
8	20	73	46
5	35	52	44
20	34	40	37
21	37	36	36
25	< 14	58	36
13	< 14	56	35
29	< 14	50	32
16	< 14	50	32
22	< 14	44	29
17	< 14	38	26
18	< 14	/	/

Pour le point 18, le prélèvement de la campagne estivale n'a pas été réalisé en raison de la perte du matériel de prélèvement (dégradations).

Les concentrations relevées en particules sédimentables sont plus élevées lors de la campagne estivale. Les conditions météorologiques sont plus favorables à l'érosion éolienne pendant cette saison (moins d'humidité).

On remarque que les niveaux des sites P10 ; P24 ; P32 et P7 sont nettement supérieurs aux autres, en particulier lors de la campagne estivale. Les activités susceptibles d'influencer la qualité de l'air à proximité de ces sites de mesure sont résumées dans le Tableau 25 ci-après.

La particularité du site P24 par rapport aux autres sites est le trafic routier important à proximité (Rond-point Herman Melville).

Les sites P10 ; P24 et P32 sont proches des zones de réparation navale, qui sont susceptibles d'émettre des poussières.

Les sites (P7 ; P10 et P32) sont à proximité d'installation IREP, susceptibles d'émettre des poussières.

Tableau 25 : Activités à proximité des sites de mesure présentant des niveaux en particules sédimentables élevés.

	Activité du port à proximité	Trafic à proximité	Installations IREP
P7	Quai 6ème Est et Ouest et Sud ; Plateforme multimodale		Bunge
P10	Forme 2, Forme 3, quais de réparation 1 et 4 ; Postes Gaz - hydrocarbure ; Poste sabier, Stockage et manipulation feraille, quai EMR (énergie marine renouvelable)		GUYOT environnement ; SPBB - station de déballastage ; STEP - zone portuaire ; Eau du Ponant SPL
P24	Forme 1	Fort	
P32	Forme 2, Forme 3, quais de réparation 1 et 4		STOCKBREST (STB2) ; Compagnie des gaz de pétrole PRIMAGAZ

La Figure 28 présente la position des sites de mesure sur la zone d'étude avec un code couleur correspondant aux moyennes annuelles estimées en particules sédimentables.

Les points avec le code couleur rouge (> 50 mg/m²/jour) se trouvent principalement sous l'emprise de la zone portuaire (P6 ; P7 ; P27 ; P9 ; P32 ; P28 ; P15 ; P10). La moyenne annuelle estimée n'a pas pu être calculée pour le site P18 en raison de la perte d'une plaquette DIEM.

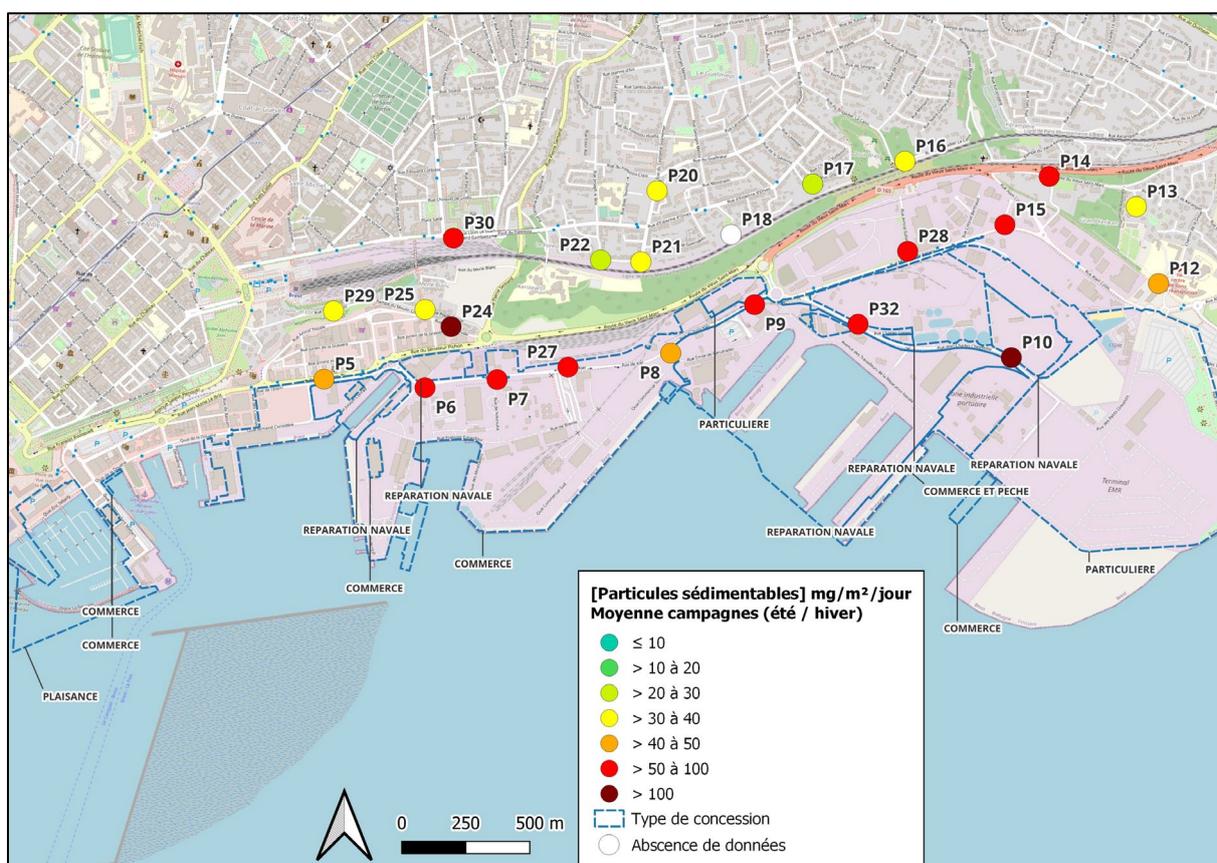


Figure 28 : Carte des concentrations en particules sédimentables rencontrées sur la zone d'étude - moyenne campagnes (été/hiver)

Parmi les sites avec une concentration supérieure à 50 mg/m²/jour, seuls les points P30 (67 mg/m²/jour) et P14 (63 mg/m²/jour) sont à l'extérieur de la zone portuaire. La proximité de ces sites au trafic routier pourrait expliquer les niveaux rencontrés. Des concentrations importantes en NO₂ ont également été mesurées sur ces sites, ce qui témoigne d'un fort trafic routier à proximité (le NO₂ est considéré comme traceur du trafic routier).

Conclusion :

Les retombées en particules sédimentables les plus importantes ($> 50 \text{ mg/m}^2/\text{jour}$) ont été mesurées sur la zone portuaire, à l'exception des points proches du boulevard Gambetta (site P30) et de la D165 (site P14), probablement influencés par le trafic routier à proximité.

Les retombées les plus fortes ont été mesurées à proximité des sources :

- trafic routier : site proche du rond-point Herman Melville (P24)
- réparation navale : site sur la zone industrielle Est (P10 et P32) et proche de la Forme 1 (site P24)
- installations IREP : site proche de l'usine Bunge (P24 et P7), et sur la zone industrielle Est, à proximité de Guyot Environnement (P10) et des usines PRIMAGAZ et STOCKBREST (P32)

Pour ces sites, les moyennes annuelles estimées sont entre 93 et 110 $\text{mg/m}^2/\text{jour}$

Il est difficile de quantifier la contribution de chaque activité de la zone portuaire dans ces retombées de particules sédimentables relevées sur les sites de prélèvement. Il est possible que certains sites de mesure soient soumis à plusieurs sources (P24 ; P10 ; P32)

Lors de l'étude préalable, le terminal multi-vrac avait été identifié comme contributeur majoritaire de particules sédimentables. Bien que les sites de mesure à proximité soient impactés, les niveaux relevés à l'extérieur du port, chez les riverains, sont faibles (hors site de proximité au trafic routier).

V8. Résultats des mesures en particules fines (PM10)

Dans cette partie, les niveaux en particules fines (PM10) sur la zone d'étude sont étudiés. Pour caractériser les impacts des émissions de la zone portuaire, les PM10 ont été mesurées sur 3 sites de mesures fixes : P1 (Macé) ; P12 (Ty-Yann) et P22 (SNCF).

Ces mesures sont comparées aux valeurs seuils de référence (valeur limites réglementaires pour la protection de la santé humaine et valeurs guides de l'OMS) et aux mesures de la station urbaine trafic Desmoulins.

a) Evolution temporelle des niveaux en particules (PM10)

Le Tableau 26 ci-dessous présente une synthèse statistique des mesures en PM10 réalisées aux 3 points de mesure fixe (Macé, Ty-Yann et SNCF) et à la station de référence Desmoulins (UT). Les moyennes et les maximum horaires sont comparés aux seuils de référence.

Tableau 26 : Synthèse statistique des mesures en PM10, campagne hivernale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

PM10	Point 1 (Macé – UF*)		Point 12 (Ty-Yann)		Point 22 (SNCF)		Desmoulins (UT**)	
	hivernale	estivale	hivernale	estivale	hivernale	estivale	hivernale	estivale
Données horaires								
1 ^{er} quartile	8,3	9,3	7,7	11,7	4,6	11,2	15,8	11,5
Médiane	12,6	13,7	11,9	19,3	8,7	16,4	20,9	17,9
Moyenne	13,4	15,6	13,7	21,1	9,4	18,0	24,0	19,8
3 ^{ème} quartile	17,1	21,4	17,9	28,4	13,7	24,7	28,8	26,2
Maximum horaire	52,7	23,3	77,9	218,4	36,7	47,6	121,9	102,9
Données journalières								
Valeur guide OMS	45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en <u>moyenne journalière</u>							
Valeur limite	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en <u>moyenne journalière</u>							
Maximum journalier	23,9	25,6	24,8	33,3	18,3	28,8	45,8	33,8

* UF : station réglementaire Urbaine de Fond

** UT : station réglementaire Urbaine Trafic

Au vu des résultats de ce tableau, la valeur limite pour la protection de la santé humaine en moyenne journalière (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) n'a jamais été dépassée sur les 4 sites de Brest, lors de deux périodes de mesure. La station Desmoulins atteint la valeur guide de l'OMS en moyenne journalière lors de la campagne hivernale (max journalier : 46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

On remarque que la moyenne estivale de la station Ty-Yann est supérieure à celle de la station Desmoulins.

La Figure 29 ci-dessous présente les jeux de données horaires des sites de mesure fixe, pour les deux campagnes, sous la forme de box plot.

On remarque une valeur horaire très forte mesurée sur le site Ty-Yann pendant la campagne estivale (218 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), qui se démarque nettement par rapport aux niveaux maximaux des autres sites. En comparaison, le maximum horaire mesuré à la station Desmoulins (station urbaine trafic) atteint 122 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

La moyenne mesurée pendant la campagne estivale à la station Ty-Yann (21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) a été influencée par ce pic de 218 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire.

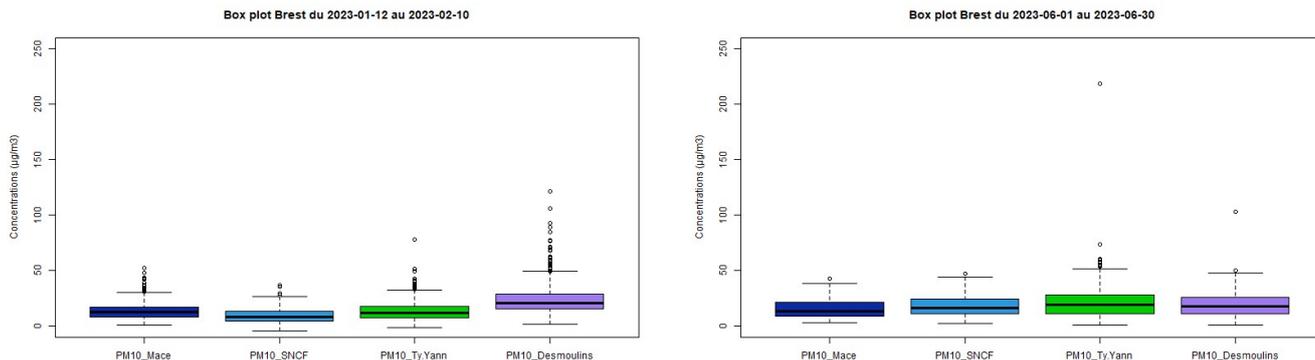


Figure 29 : Box plot des concentrations en PM10 mesurées sur les deux campagnes (données horaires)

Les Figure 30 et Figure 31 ci-après présentent les évolutions journalières en PM10 sur les 4 sites de mesure pour les deux campagnes.

Les profils des 4 stations sont très similaires pendant la campagne estivale. La station Ty-Yann présente quelques pics de concentration qui se détache de ce profil, en particulier le 26/06/2023 où la tendance de la courbe est très différente par rapport aux autres sites.

Les profils de la campagne hivernale sont assez similaires entre les sites de mesure, avec un écart constant entre le site Desmoulin et les autres sites, qui s'accroît lorsque les concentrations augmentent. La courbe des concentrations mesurées sur le site SNCF est la plus faible sur cette période.

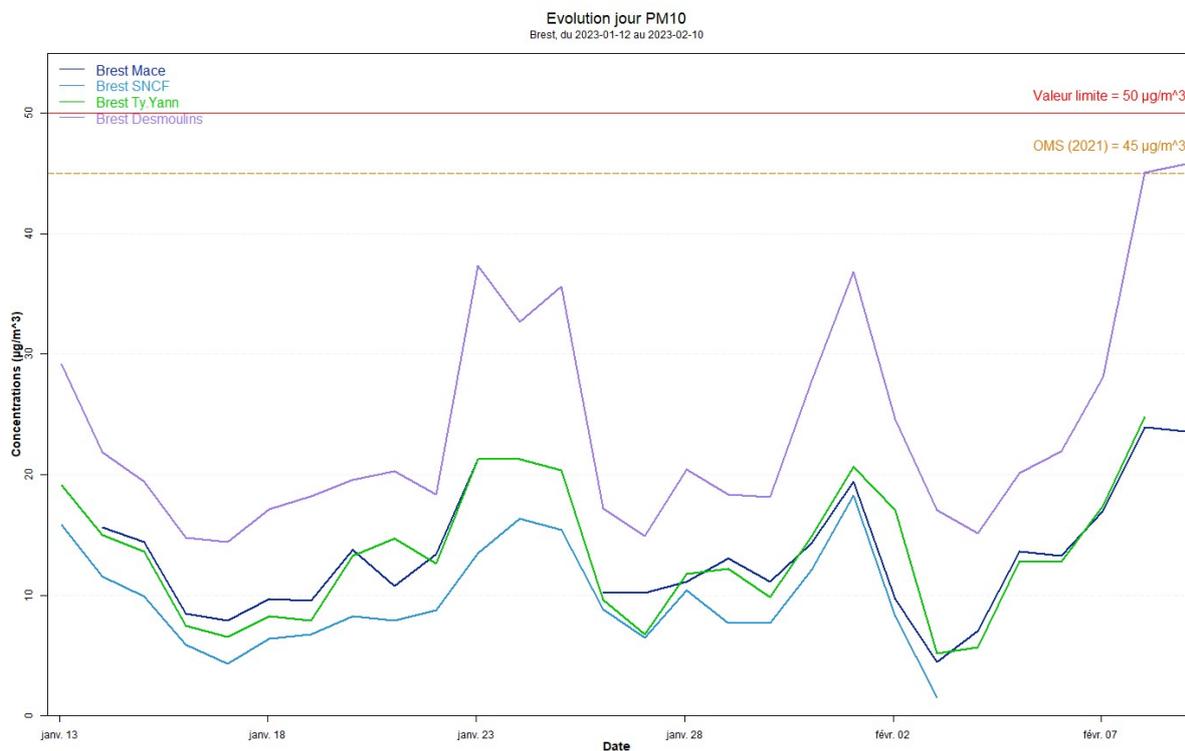


Figure 30 : Evolution journalière des concentrations en PM10 lors de la campagne hivernale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

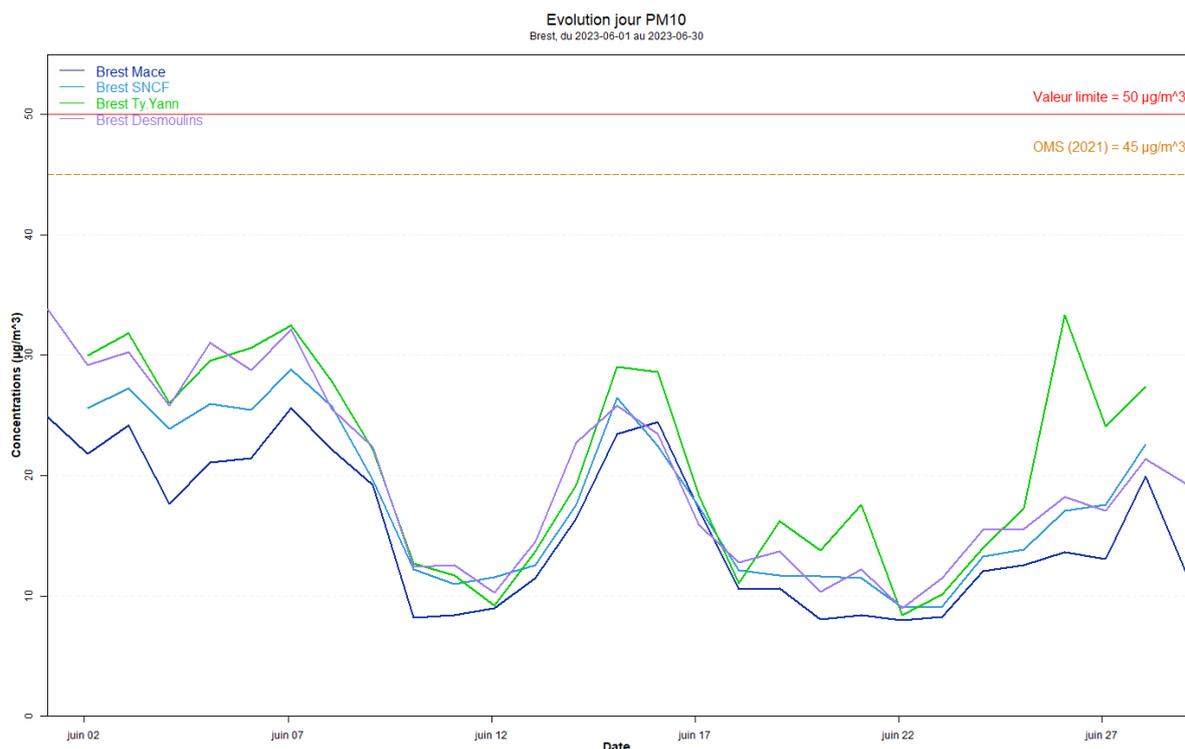


Figure 31 : Evolution journalière des concentrations en PM10 lors de la campagne estivale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Sur la Figure 32 ci-dessous, on peut voir les roses des pollutions pour les 3 jours concernés par des concentrations élevées sur le site Ty-Yann (campagne estivale).

La rose du 26/06/2023 effectuée à partir des données du site Ty-Yann, montre une influence du Nord-Ouest (300°), en provenance du site 15. Dans l'axe de cette zone, les installations industrielles SUEZ et STOCKBREST sont présentes.

Les roses du 27 et du 28/06/2023 montrent une influence du Sud-Ouest et un peu de l'Ouest pour le 28/06/2023. La zone industrielle de la zone portuaire se trouve sur cet axe, comprenant la zone de réparation navale (Forme 2 et 3, quai de réparation QR1 et QR4), et l'installation GUYOT Environnement.

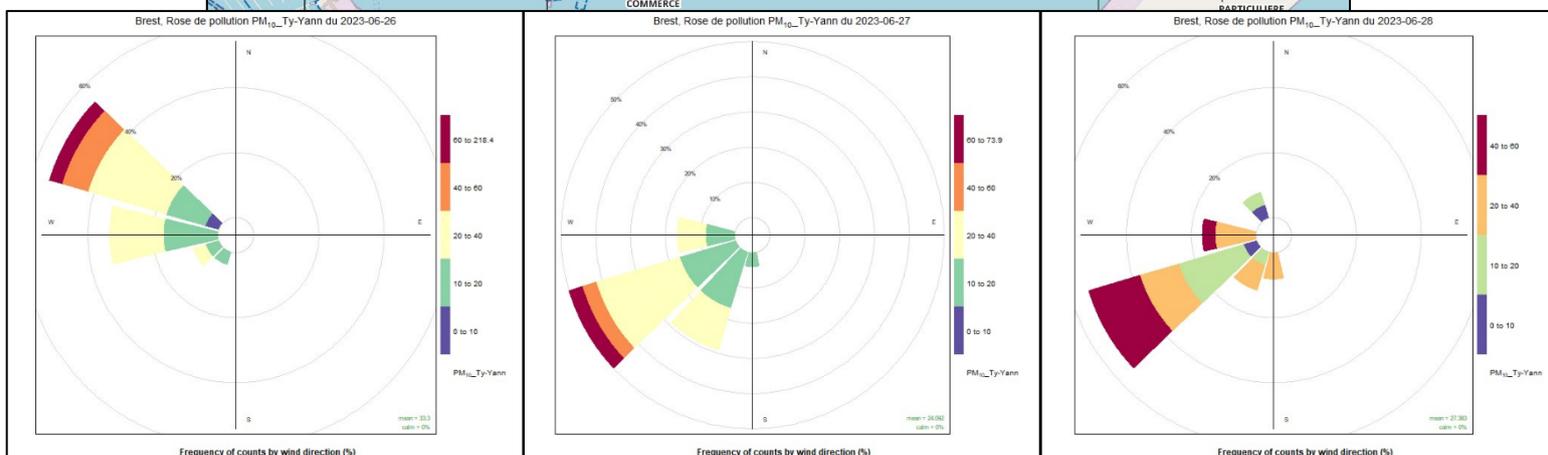
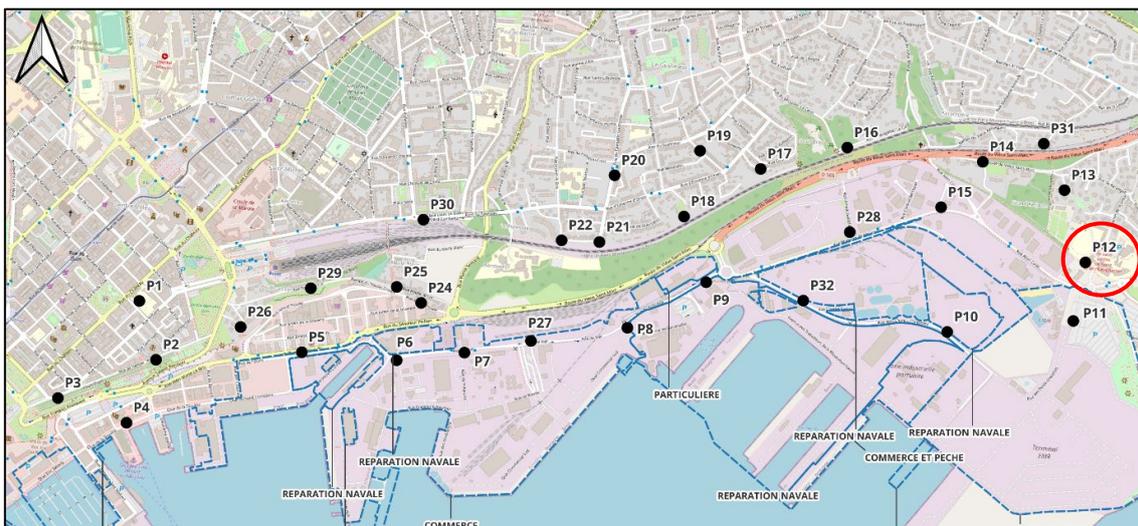


Figure 32 : Rose des pollutions du 26 ; 27 et 28/06/2023 à la station Ty-Yann (PM10 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Les polar plot (ANNEXE 3) des deux campagnes de mesure sont présentés pour chacun des sites sur la Figure 33 ci-après. **Les échelles de couleur et de vitesse de vents sont différentes entre les figures, elles varient en fonction des max mesurés.**

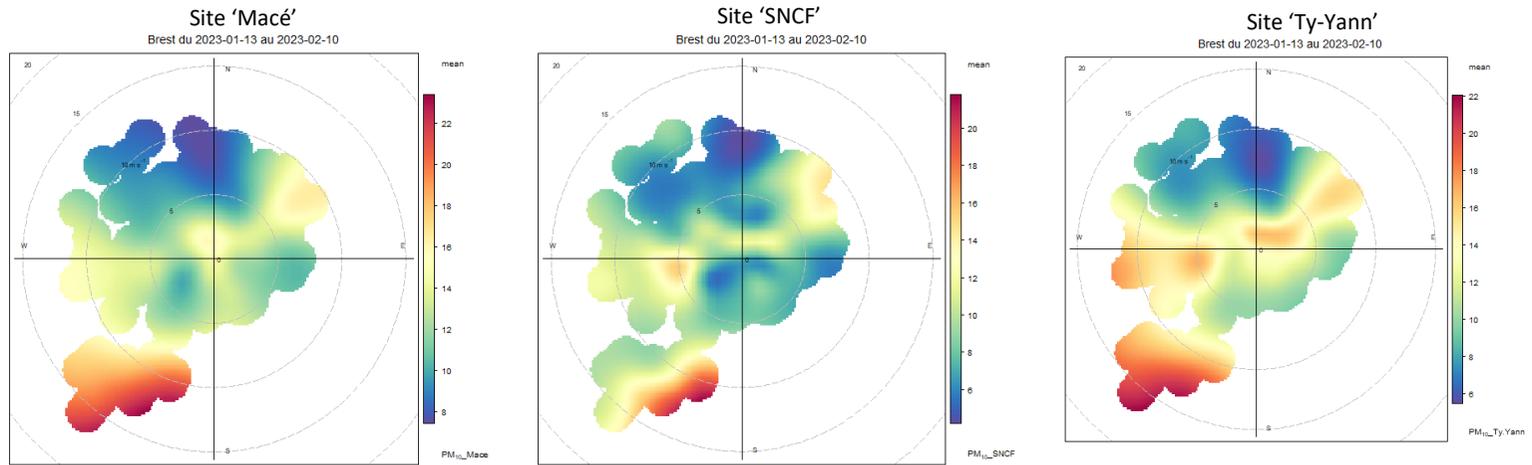
Les plus fortes concentrations en PM10 lors de la campagne hivernale sont mesurées par vents forts (entre 10 et 15 m/s) de Sud-Ouest sur les 3 sites de mesure. Ce profil commun entre les sites peut être associé à l'influence des embruns marins.

Pendant la campagne estivale, les concentrations les plus fortes ont été mesurées le plus souvent lorsque les vents provenaient d'un large secteur Est (40 à 120°), on remarque un profil commun entre les sites, probablement non lié au port.

Pour le site Ty-Yann, on observe un impact des PM10 provenant de l'Ouest (zone industrielle portuaire) pour les deux campagnes de mesure.

La spéciation chimique permet de mieux comprendre la provenance des particules (partie suivante).

Campagne hivernale



Campagne estivale

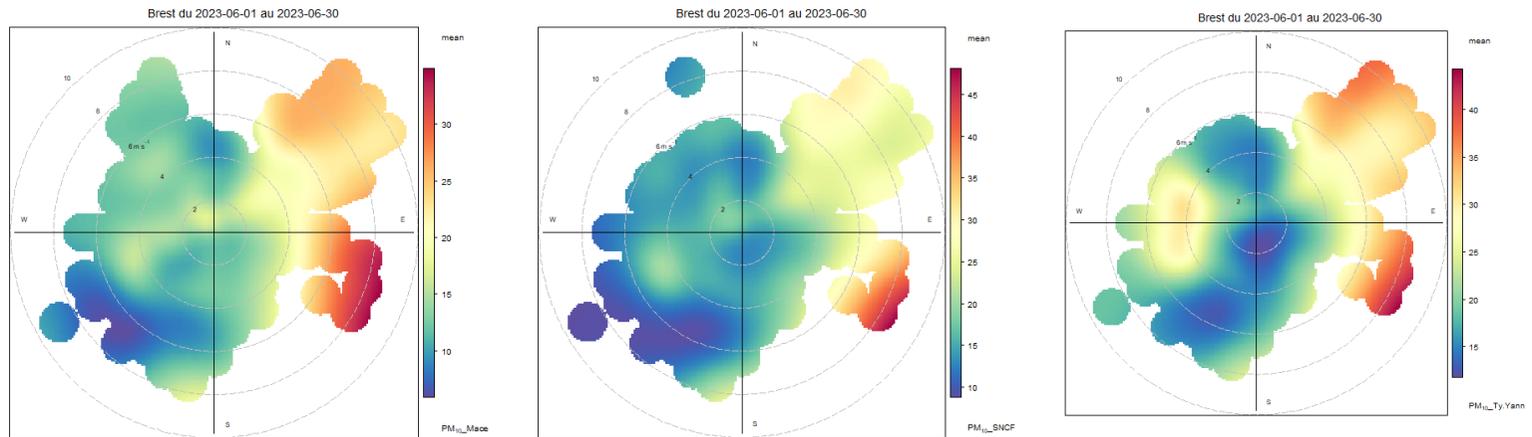


Figure 33 Polar plot des concentrations mesurées en PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) sur les sites Desmoulin, Macé, SNCF et Ty-Yann ; campagnes hiver et été

Conclusion :

Les profils des concentrations en PM10 sont assez similaires entre les sites de mesure, avec des niveaux plus importants pour la station Desmoulins sur la campagne hivernale en raison de la typologie du site (urbain trafic).

Des concentrations importantes ont été remarquées sur le site du quartier du Moulin Blanc (Ty-Yann) lors de la campagne estivale, ne correspondant pas au profil des autres sites de mesure.

D'après les roses des pollutions sur la période concernée (du 26 au 28/06/2023), la zone industrielle portuaire (Guyot Environnement, réparation navale, poste sablier) située au Sud-Ouest du site Ty-Yann pourrait avoir contribué à la hausse des concentrations en PM10 sur cette période.

Lors de l'étude préalable, les activités industrielles du terminal multi-vrac avait été identifiées comme majoritaire dans les émissions en PM10 sur la zone portuaire. Cependant, il y a peu d'impact sur le quartier St-Marc au vu des niveaux mesurés en PM10 sur le site SNCF.

Les polar plot des deux périodes de mesure montrent des profils communs entre les sites de mesure, mettant en évidence une source lointaine de Sud-Ouest pendant la campagne hivernale et du secteur Est pendant la campagne estivale. La contribution des émissions du port ne semble pas majoritaire.

L'analyse de la spéciation chimique des particules dans la partie suivante permet de mieux comprendre la provenance de ces particules et identifier les sources d'émissions.

VI. RESULTATS DE L'ANALYSE DE LA SPECIATION DES PARTICULES

Chaque campagne comptait 27 prélèvements journaliers par site. Une sélection des filtres à analyser a été réalisée sur la base de différents critères exposés en préambule de la présentation des résultats (partie IV - contexte des mesures).

VI1. Protocole de sélection des filtres

La sélection des filtres pour l'analyse de la composition chimique des particules (PM10) a été réalisée dans le but de répondre aux objectifs suivants :

- **Comparaison de la composition chimique moyenne des particules entre les sites**, pour observer les différences d'exposition des quartiers riverains aux émissions de la zone portuaire ;
- **Analyse spécifique de la composition chimique des particules**, en fonction de l'exposition des sites aux sources d'émission de la zone portuaire :
 - quartier Saint-Marc (site P22 – SNCF) : exposition à la zone portuaire par vent de Sud-Ouest ; Sud et Sud-Est ;
 - quartier Moulin Blanc (site 12 – Ty-Yann) : exposition à la zone portuaire par vent d'Ouest et de Sud-Ouest ;
 - quartier Brest centre (site P1 – Macé) : exposition à la zone portuaire par vent d'Est/Sud-Est.

Pour répondre à ces objectifs, les filtres ont été sélectionnés suivant les niveaux de particules mesurés et leurs provenances (rose des pollution PM10). Le détail des filtres sélectionnés est présenté en ANNEXE 5.

b) Caractérisation chimique des particules PM10 : détermination des influences globales

Bien que la composition des particules varie beaucoup dans l'espace et le temps, il existe des composés dits 'majoritaires' qui forment une grande part de la masse des particules. Ils se décomposent en matière carbonée, inorganique, poussières minérales et sels marins. Les analyses chimiques réalisées ont permis de reconstituer en partie la composition des PM10 pour chaque échantillon selon la méthode du bilan des masses.

Des facteurs de conversion ont été utilisés pour estimer les proportions de certaines espèces majoritaires. Ils sont repris dans les paragraphes suivants.

La matière carbonée : EC et OM

EC (Elemental Carbon) désigne le carbone suie. C'est un composé purement primaire, apparenté à du graphite pur. Il est uniquement émis lors des processus de combustion (source anthropique). EC est mesuré par méthode thermique ou thermo-optique.

OM (organic matter) désigne la matière organique contenue dans les particules. Elle est composée d'une multitude de molécules différentes. Les sources d'OM sont multiples : anthropiques (émissions directes par les combustions, oxydation dans l'atmosphère de composés organiques volatils émis par l'activité humaine, ...) et naturelles (remise en suspension de débris végétaux, oxydation dans l'atmosphère de composés organiques volatils

émis par la végétation, ...). Les contributions des sources anthropiques et naturelles au sein de la matière organique sont différentes selon la période de l'année.

Les techniques actuellement disponibles ne permettent de mesurer que la masse d'atome de carbone contenu dans la matière organique. Cette masse est appelée carbone organique (OC). Or la matière organique est constituée du carbone organique et de nombreux autres atomes (H, O, N, ...). Un facteur de conversion est donc utilisé pour estimer la matière organique à partir du carbone organique.

Les études réalisées sur le sujet montrent que ce facteur est très lié à la source et au vieillissement du carbone organique. Un facteur de 1.75, issu de la bibliographie, a été retenu⁸.

Au sein de la matière carbonée, certains composés sont considérés comme des marqueurs spécifiques de sources de particules. Parmi eux, le **Lévoglucosan** reconnu comme traceur de la combustion biomasse (chauffage bois en hiver, brûlage de déchets verts ou l'écobuage dans l'agriculture). Du fait de la problématique de cette étude, ce composé fera l'objet d'une analyse spécifique.

Les espèces inorganiques secondaires :

Trois espèces sont majoritaires : les ions ammonium (NH_4^+), nitrates (NO_3^-) et sulfates non-marins (SO_4^{2-}). Ces espèces se retrouvent principalement dans les particules sous forme de nitrate d'ammonium (NH_4NO_3) et sulfate d'ammonium ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), formés dans l'atmosphère à partir de précurseurs gazeux que sont l'ammoniac (NH_3), l'acide nitrique (HNO_3) et le dioxyde de soufre (SO_2). Les sulfates non marins (SO_4^{2-}) sont estimés par soustraction des sulfates marins aux sulfates totaux. La masse des sulfates marins est quant à elle estimée à partir de la masse du sodium (origine maritime quasi exclusive) auquel ils sont associés⁹.

$$\text{nss SO}_4^{2-} = \text{SO}_4^{2-} - (0.251 \times \text{Na}^+)$$

Les poussières minérales et les sels marins

Les poussières minérales ou crustales (dust) peuvent être d'origine naturelle, ou considérées d'origine anthropique si elles sont liées à la remobilisation de poussières naturelles par l'activité humaine. Ces poussières sont issues de l'érosion ou l'exploitation des sols, et principalement formées d'aluminium, silicium, fer et calcium.

La masse de ces poussières est estimée à partir de la masse de calcium et de sodium comme suit¹⁰ : $\text{dust} = (\text{Ca}^{2+} - 0.039 \times \text{Na}^+) \times 8$ La masse de sels marins est estimée à partir du sodium⁵ comme suit : $\text{sels de mer} = 3 \times \text{Na}^+$

Commentaire sur la part non déterminée des particules

L'exercice du bilan des masses fait systématiquement apparaître une part de particules non déterminée ('nd') liée à la différence entre la somme des masses des différentes composantes.

Chimiques prises en compte et la masse totale de particules mesurées avec l'appareil de mesures automatiques. La part non déterminée de particules est généralement de l'ordre de

⁸ Thèse de Diogo Miguel BARROS de OLIVEIRA, Lille 1, 2017

⁹ Turpin et Lim 2001, Caractérisation chimique des particules LCSQA juin 2009

¹⁰ Méthode retenue par l'IMT de Douai pour le suivi de la caractérisation des particules des sites MERA

10 à 20% de la masse totale en situation de fond. Cet ordre de grandeur a été globalement respecté durant cette étude.

VI2. Résultats des mesures de la campagne hivernale

Les résultats de la spéciation chimique des particules sont détaillés dans cette partie. Dans un premier temps, les résultats en anions/cations et en carbone élémentaire/organique sont présentés (comparaison entre les sites de mesure et analyse spécifique). Ensuite, les analyses des sucres sont détaillées.

a) Comparaison entre les sites de mesure

Le Tableau 27 ci-dessous présente les filtres choisis pour la comparaison de la spéciation entre les sites de mesure. Les concentrations en PM10 et l'exposition des sites (provenance majoritaire) lors des journées de prélèvement ont permis de faire cette sélection. Au total, 18 filtres ont été sélectionnés (6 par site de mesure).

Tableau 27 : Sélection des filtres pour la spéciation chimique - campagne hivernale.

Campagne hiver	Exposition (PM10)	Vitesse de vent (m/s)	site SNCF [PM10] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	site Ty-Yann [PM10] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	site Macé [PM10] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
14/01/2023	Sud-Ouest	8,3	11,5	15,0	15,6
15/01/2023	Ouest	8,4	9,9	13,6	14,4
28/01/2023	Nord-Est	2,5	10,4	11,8	11,1
29/01/2023	Sud-Ouest	2,5	7,7	12,2	13,0
01/02/2023	Ouest	2,6	18,3	20,7	19,4
02/02/2023	Sud-Ouest	2,5	8,3	17,1	9,7

Les résultats de la spéciation sont présentés en page suivante (Tableau 31). La composition des particules PM10 est détaillée, par site de mesure, sous forme de diagramme circulaire (moyenne des résultats pour les 6 filtres). Un tableau de synthèse présente les concentrations moyennes et maximales relevées (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) et la contribution de ces composés dans les PM10 (en %).

On remarque que les compositions des PM10 sont très similaires entre les sites Macé et Ty-Yann. Les parts d'éléments non déterminés et de carbone organique (OM) diffèrent seulement de 4 et 5%.

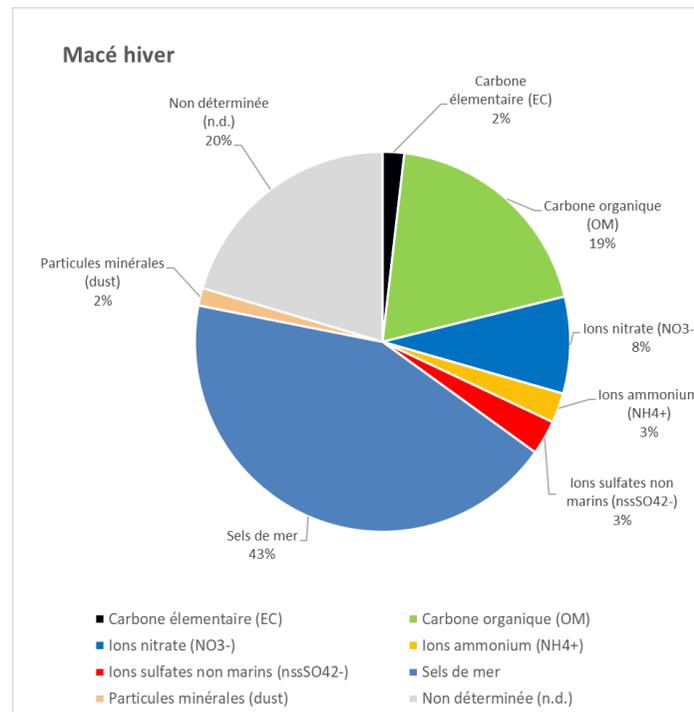
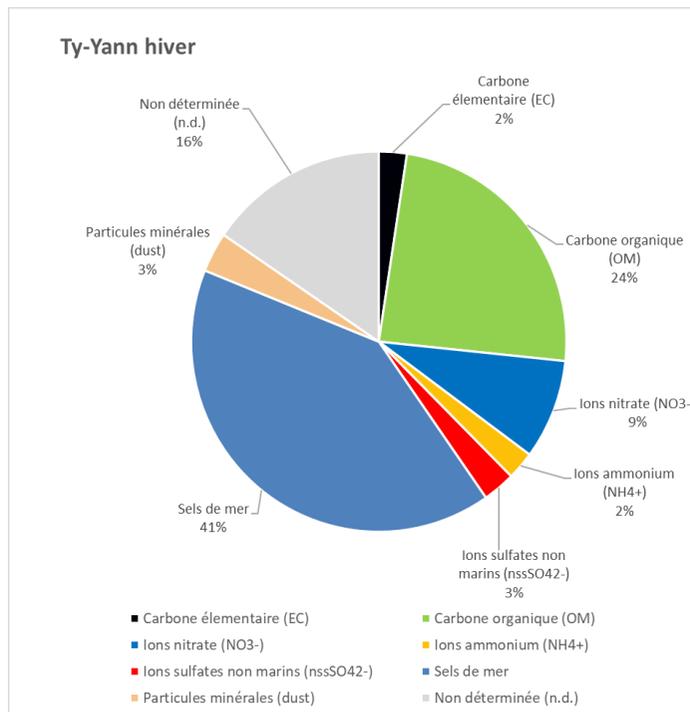
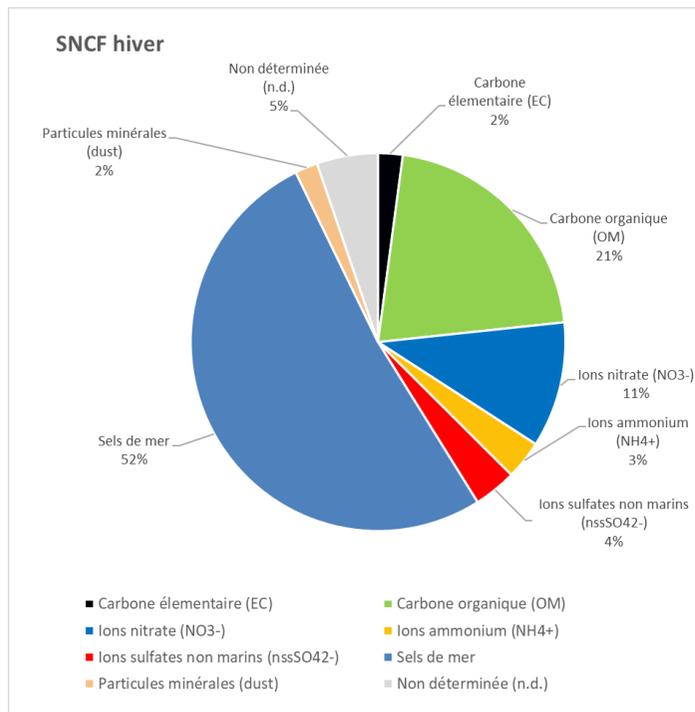
Pour le **site SNCF**, la composition des PM10 se distingue par une part très importante de sels de mer (52%) et une contribution moins importante d'éléments indéterminés (seulement 5%). Cette part importante en sels de mer peut s'expliquer par une concentration moyenne en PM10 ($11 \mu\text{g}/\text{m}^3$) moins importantes sur le site SNCF (Saint-Marc) par rapport aux autres sites.

Pour une quantité équivalente en sels marins, la contribution dans les PM10 sera plus importante si la concentration est faible.

On remarque des valeurs assez importantes en matière organique (OM) lorsque les vents provenaient du Nord-Est (depuis les terres), le 28/01/2023.

Le 02/02/2023, la contribution en particules minérales est 3 fois plus importantes sur le **site Ty-Yann** par rapport aux autres sites de mesure. Il est possible que le poste sablier ou l'usine Guyot environnement ait contribué à l'augmentation des niveaux en particules minérales car les vents provenaient du Sud-Ouest en moyenne ce jour-là.

Tableau 28 : Résultats de la spéciation chimique des particules PM10 – campagne hivernale



en µg/m3	Moy.	% PM10	Max.	Conc PM10	% PM10	Date
PM10	11,0	x	18,3	x	x	01/02/2023
Carbone élémentaire (EC)	0,2	2%	0,3	7,7	4%	29/01/2023
Carbone organique (OM)	2,3	21%	4,1	10,4	39%	28/01/2023
Ions Nitrate (NO3-)	1,2	11%	3,0	7,7	39%	29/01/2023
Ions Ammonium (NH4+)	0,4	3%	1,0	7,7	14%	29/01/2023
Ions Sulfates non-marins (nssSO42-)	0,4	4%	0,9	7,7	12%	29/01/2023
Sels de mer	5,7	52%	10,2	18,3	56%	01/02/2023
Particules minérales (dust)	0,2	2%	0,4	8,3	5%	02/02/2023
non déterminée (n.d.)	0,6	5%	3,3	18,3	18%	01/02/2023

en µg/m3	Moy.	% PM10	Max.	Conc PM10	% PM10	Date
PM10	15,1	x	20,7	x	x	01/02/2023
Carbone élémentaire (EC)	0,4	2%	0,5	17,1	3%	02/02/2023
Carbone organique (OM)	3,7	24%	5,9	11,8	50%	28/01/2023
Ions Nitrate (NO3-)	1,3	9%	3,1	14,4	21%	28/01/2023
Ions Ammonium (NH4+)	0,4	2%	1,0	12,2	8%	29/01/2023
Ions Sulfates non-marins (nssSO42-)	0,4	3%	1,0	12,2	8%	29/01/2023
Sels de mer	6,1	41%	10,9	20,7	52%	01/02/2023
Particules minérales (dust)	0,5	3%	2,4	17,1	14%	02/02/2023
non déterminée (n.d.)	2,3	15%	4,8	17,1	28%	02/02/2023

en µg/m3	Moy.	% PM10	Max.	Conc PM10	% PM10	Date
PM10	13,9	x	19,4	x	x	01/02/2023
Carbone élémentaire (EC)	0,3	2%	0,4	13,0	3%	29/01/2023
Carbone organique (OM)	2,7	19%	4,3	13,0	33%	28/01/2023
Ions Nitrate (NO3-)	1,1	8%	2,7	11,1	24%	28/01/2023
Ions Ammonium (NH4+)	0,4	3%	1,0	13,0	8%	29/01/2023
Ions Sulfates non-marins (nssSO42-)	0,4	3%	0,9	13,0	7%	29/01/2023
Sels de mer	6,0	43%	10,9	19,4	56%	01/02/2023
Particules minérales (dust)	0,2	1%	0,4	11,1	4%	28/01/2023
non déterminée (n.d.)	2,8	20%	5,1	14,4	35%	14/01/2023

b) Analyse spécifique en fonction de l'exposition des sites de mesure

Les vents de Sud et de Sud-Est ont été peu fréquents lors de la campagne hivernale. Les filtres choisis n'ont pas permis d'étudier l'exposition du quartier Saint-Marc à la zone portuaire Est (réparation navale, zone industrielle).

Les filtres ayant été exposés aux PM10 par **vents d'Ouest** sont présentés dans le Tableau 29 ci-dessous. La composition chimique des particules prélevées sur les trois sites de mesure fixes est présentée ci-dessous (Figure 34).

Tableau 29 : Sélection des filtres exposés aux PM10 par vents d'Ouest - campagne hivernale.

Campagne hiver	Exposition (PM10)	Vitesse de vent (m/s)	site SNCF [PM10] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	site Ty-Yann [PM10] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	site Macé [PM10] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
13/01/2023	Ouest	5,6	15,9	19,1	/
15/01/2023	Ouest	8,4	9,9	13,6	14,4
31/01/2023	Ouest	2,6	/	14,9	/
01/02/2023	Ouest	2,6	18,3	20,7	19,4

On remarque que les sels de mer présentent plus de la moitié de la composition des particules pour les 3 sites de mesure. Les fortes vitesses de vents (5,6 et 8,4 m/s le 13 et le 15/01/2023) ont probablement favorisé la production d'embruns marins. Les profils de composition chimique des PM10 sont très similaires entre les sites de mesure.

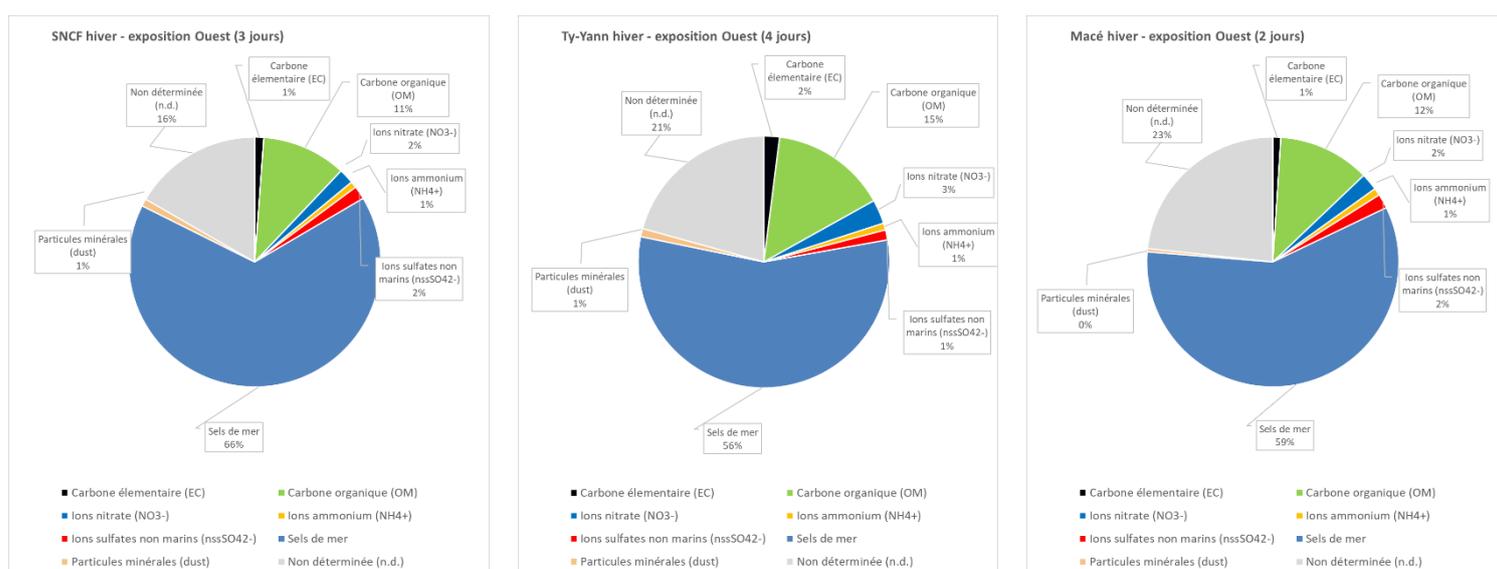


Figure 34 : Analyse de la composition chimique des PM10 par vents d'Ouest

Les filtres ayant été exposés aux PM10 par **vents de Sud-Ouest** sont présentés dans le Tableau 30 ci-dessous. La composition chimique des particules prélevées sur les trois sites de mesure fixes est présentée ci-après (Figure 37).

Tableau 30 : Sélection des filtres exposés aux PM10 par vents de Sud-Ouest - campagne hivernale.

Campagne hiver	Exposition (PM10)	Vitesse de vent (m/s)	site SNCF [PM10] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	site Ty-Yann [PM10] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	site Macé [PM10] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
14/01/2023	Sud-Ouest	8,3	11,5	15,0	15,6
29/01/2023	Sud-Ouest	2,5	7,7	12,2	13,0
02/02/2023	Sud-Ouest	2,5	8,3	17,1	

La composition chimique des PM₁₀ hors sels de mer (particules minérales, ions nitrates, ammonium, sulfates, carbone élémentaire (EC) et organique (OM)) est globalement plus importante sur les sites de SNCF et Ty-Yann par rapport à la station Macé.

Lorsque les vents proviennent du Sud-Ouest, les particules minérales (dust) présentent une part importante des PM₁₀ sur le site de Ty-Yann (6%) par rapport aux autres sites (2% et 0%),

Il est possible que la zone portuaire ait un impact sur les sites SNCF et Ty-Yann lorsque les vents proviennent du Sud-Ouest

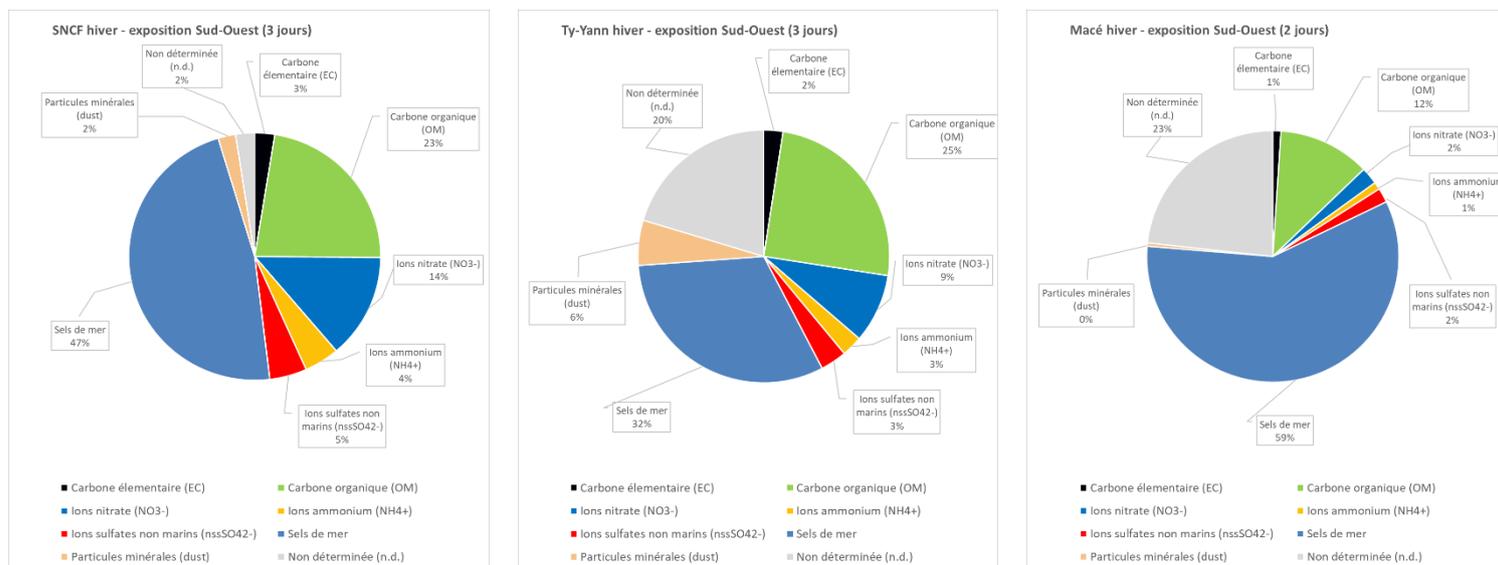


Figure 35 : Analyse de la composition chimique des PM₁₀ par vents de Sud-Ouest

Lors de la campagne hivernale, les résultats de la spéciation chimique montrent une part importante de sels de mer dans les particules PM₁₀ (environ la moitié). Les profils de contribution chimique entre les sites de mesure sont assez similaires en moyenne.

Une contribution importante en carbone organique est visible (jusqu'à 50% pour le quartier Moulin Blanc) lorsque les vents proviennent du Nord-Est. Le carbone organique peut être issue de sources anthropiques ou naturelles variées.

Le quartier Moulin Blanc est exposé à une part non négligeable de particules minérales (jusqu'à 6%) lorsque les vents proviennent du Sud-Ouest, en provenance de la zone industrielle portuaire. Il est possible que le poste sablier ou l'usine Guyot environnement (dans l'axe du site de mesure Ty-Yann) ait contribué à l'augmentation des niveaux en particules minérales sur cette campagne.

c) Résultats des mesures en Lévo-glucosan

La figure suivante présente les teneurs en Lévo-glucosan (traceur de la combustion biomasse) mesuré dans les PM10 pour les échantillons de la campagne hivernale.

La variabilité des concentrations est importante. L'analyse plus fine en fonction des influences montre que les niveaux sont les plus élevés par vent du secteur Est pour le site SNCF par rapport au site Macé (20 et 21/01/2023). Pour le site Ty-Yann, des concentrations plus importantes ont été relevées par vents de Sud-Ouest par rapport aux autres sites le 29/01/2023.

La concentration en Lévo-glucosan la plus importante a été mesurée par vents éparses (dans toutes les directions) le 08/02/2023 sur le site Ty-Yann. La rose des pollutions du 08/02/2023 (Figure 37) permet d'identifier une concentration importante en PM10 provenant du Nord-Est (milieu urbain).

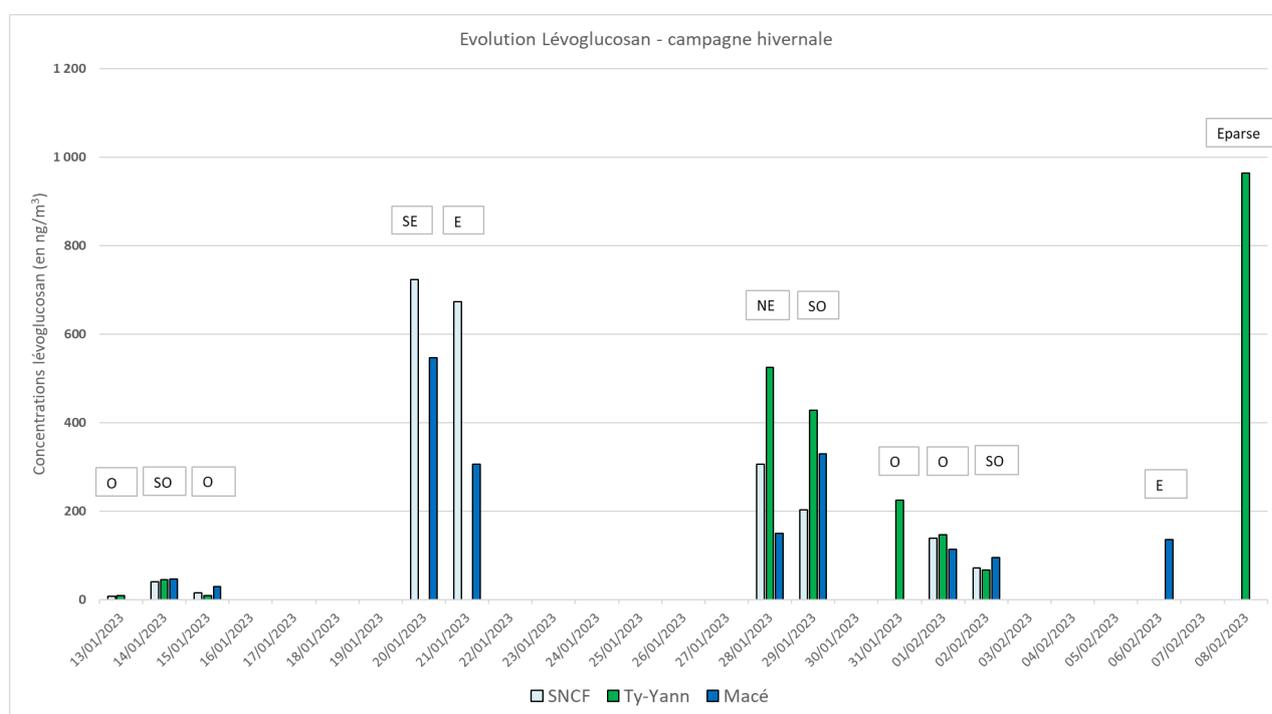


Figure 36 : Evolution du Lévo-glucosan sur les sites de mesure – campagne hivernale

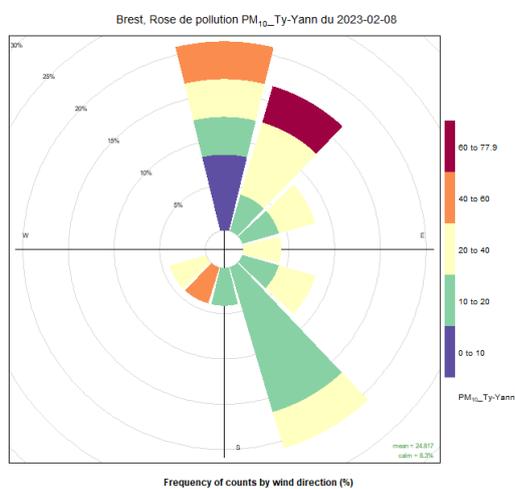


Figure 37 : Rose des pollutions, site Ty-Yann, campagne hivernale.

Les niveaux en Lévoglucosan les plus importants ont été rencontrés lorsque les vents provenaient du Nord-Est, en provenance de la ville (le secteur résidentiel est un émetteur important).

Lorsque les vents proviennent de la zone portuaire, les niveaux en Lévoglucosan (traceur de la combustion biomasse) sont plus élevés sur les quartiers Saint-Marc et Moulin Blanc.

VI3. Résultats des mesures de la campagne estivale

a) Comparaison entre les sites de mesure

Le Tableau 31 ci-dessous présente les filtres choisis pour la comparaison de la spéciation entre les sites de mesure. Les conditions de vent (station Météo France Guipavas) et les concentrations en PM10 mesurées lors des journées de prélèvement ont permis de faire cette sélection. Au total, 24 filtres ont été sélectionnés (8 par site de mesure).

Tableau 31 : Sélection des filtres pour la spéciation chimique - campagne estivale.

Campagne été	Direction de vent	Vitesse de vent (m/s)	site SNCF [PM10] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	site Ty-Yann [PM10] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	site Macé [PM10] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
10/06/2023	Sud-Ouest	4,0	12,2	12,7	8,2
12/06/2023	Nord	2,9	11,6	9,2	9
18/06/2023	Sud-Ouest	3,6	12,1	11	10,5
21/06/2023	Sud-Ouest	3,5	11,5	17,6	8,4
24/06/2023	Sud-Est	3,7	13,2	14	12,1
25/06/2023	Ouest	4,6	13,9	17,2	12,6
27/06/2023	Sud-Ouest	2,8	17,6	24,1	13
28/06/2023	Sud-Ouest	3,0	22,6	27,4	20

Les résultats de la spéciation sont présentés en page suivante (Tableau 32). La composition des particules PM10 est présentée, par site de mesure, sous forme de diagramme circulaire (moyenne des résultats pour les 8 filtres). Un tableau de synthèse présente les concentrations moyennes et maximales relevées (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) et la contribution de ces composés dans les PM10 (en %).

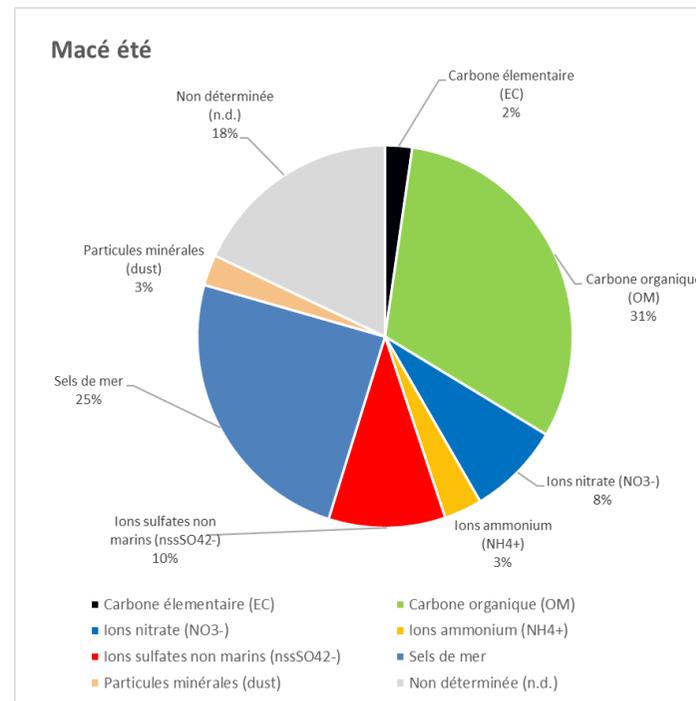
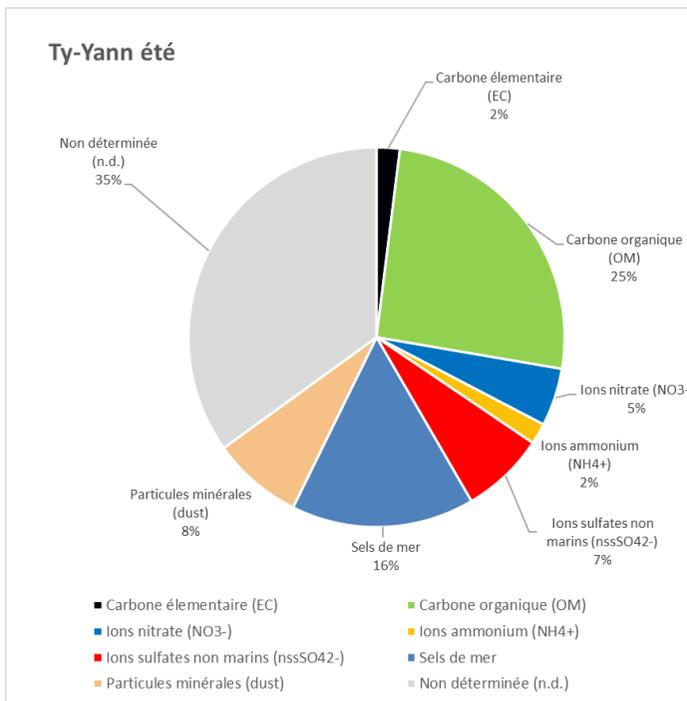
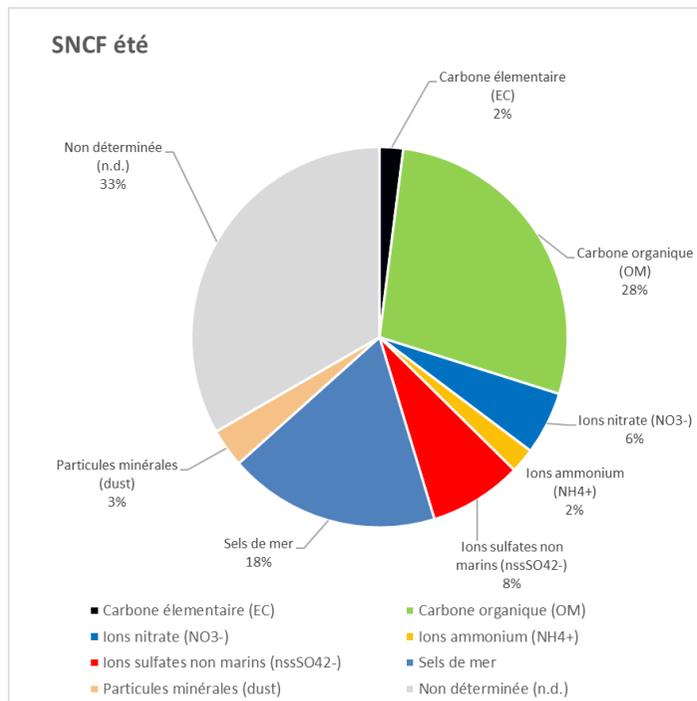
On remarque que les contributions en ions sulfates (non-marins), nitrates, ammonium et carbone élémentaire (EC) sont très similaires entre les 3 sites de mesure.

Les profils de composition des PM10 prélevés sur les sites de SNCF et Ty-Yann sont très proches. Cependant, **la contribution des particules minérales est plus importante sur le site de Ty-Yann (8 % des PM10 en moyenne)**. Cette contribution est la plus forte des 3 sites. Lors de la saison estivale, les conditions météorologiques moins humides sont favorables à l'érosion éolienne.

La part d'éléments non déterminés est la moins forte sur le site de Macé. Cependant, la part de sels de mer est la plus importante. Lors de la campagne hivernale, le site SNCF avait la part d'éléments non déterminés la plus faible et la part de sels de mer la plus importante.

La part de matière organique est plus importante sur le site de Macé (31 %), peut-être en raison de sa position plus en retrait dans la ville par rapport aux autres sites.

Tableau 32 : Résultats de la spéciation chimique des particules PM10 – campagne estivale



en µg/m3	Moy.	% PM10	Max.	Conc PM10	% PM10	Date
PM10	14,3	x	22,6	x	x	28/06/2023
Carbon élémentaire (EC)	0,3	2%	0,8	22,6	3%	28/06/2023
Carbon organique (OM)	4,0	28%	9,7	22,6	43%	27/06/2023
Ions Nitrate (NO3-)	0,8	5%	1,3	17,6	7%	12/06/2023
Ions Ammonium (NH4+)	0,3	2%	0,6	11,6	5%	12/06/2023
Ions Sulfates non-marins (nssSO42-)	1,1	8%	1,4	11,6	12%	12/06/2023
Sels de mer	2,6	18%	4,6	17,6	26%	27/06/2023
Particules minérales (dust)	0,5	3%	1,1	12,1	9%	18/06/2023
non déterminée (n.d.)	4,8	33%	6,8	22,6	30%	28/06/2023

en µg/m3	Moy.	% PM10	Max.	Conc PM10	% PM10	Date
PM10	16,7	x	27,4	x	x	28/06/2023
Carbon élémentaire (EC)	0,3	2%	0,7	24,1	3%	27/06/2023
Carbon organique (OM)	4,3	26%	10,3	27,4	38%	28/06/2023
Ions Nitrate (NO3-)	0,8	5%	1,3	24,1	5%	27/06/2023
Ions Ammonium (NH4+)	0,3	2%	0,6	9,2	7%	12/06/2023
Ions Sulfates non-marins (nssSO42-)	1,2	7%	1,4	12,7	11%	10/06/2023
Sels de mer	2,6	16%	4,1	24,1	17%	27/06/2023
Particules minérales (dust)	1,3	8%	2,8	24,1	12%	27/06/2023
non déterminée (n.d.)	5,8	35%	10,7	24,1	44%	27/06/2023

en µg/m3	Moy.	% PM10	Max.	Conc PM10	% PM10	Date
PM10	11,7	x	20,0	x	x	28/06/2023
Carbon élémentaire (EC)	0,3	2%	0,4	12,1	3%	24/06/2023
Carbon organique (OM)	3,7	31%	9,0	20,0	45%	28/06/2023
Ions Nitrate (NO3-)	0,9	8%	1,3	13,0	10%	27/06/2023
Ions Ammonium (NH4+)	0,4	3%	0,8	9,0	9%	12/06/2023
Ions Sulfates non-marins (nssSO42-)	1,2	10%	1,5	9,0	17%	12/06/2023
Sels de mer	2,9	24%	4,6	13,0	35%	27/06/2023
Particules minérales (dust)	0,3	3%	0,6	12,1	5%	12/06/2023
non déterminée (n.d.)	2,1	18%	5,6	20,0	28%	28/06/2023

b) Analyse spécifique en fonction de l'exposition des sites de mesure

Les filtres ayant été exposés aux PM10 par vents de **Sud-Ouest** sont présentés dans le Tableau 33 ci-dessous. La composition chimique des particules prélevées sur les trois sites de mesure fixes est présentée ci-dessous (Figure 38).

Tableau 33 : Sélection des filtres exposés aux PM10 par vents de Sud-Ouest - campagne estivale.

Campagne été	Exposition (PM10)	Vitesse de vent (m/s)	site SNCF [PM10] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	site Ty-Yann [PM10] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	site Macé [PM10] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
10/06/2023	Sud-Ouest	4,0	12,2	12,7	8,2
18/06/2023	Sud-Ouest	3,6	12,1	11	10,5
20/06/2023	Sud-Ouest	4,0	11,6	13,7	/
21/06/2023	Sud-Ouest	3,5	11,5	17,6	8,4
27/06/2023	Sud-Ouest	2,8	17,6	24,1	13
28/06/2023	Sud-Ouest	3,0	22,6	27,4	20

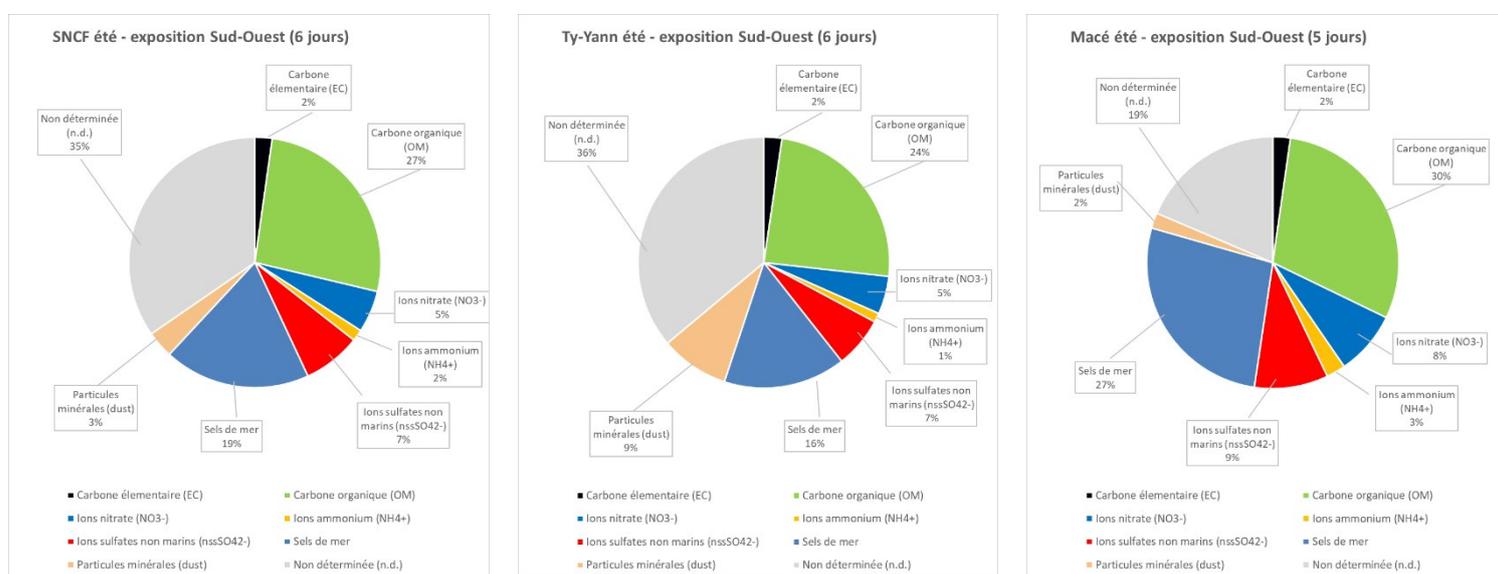


Figure 38 : Analyse de la composition chimique des PM10 par vents de Sud-Ouest

Lorsque les vents proviennent du Sud-Ouest, les particules minérales (dust) présentent une part importante des PM10 sur le site de Ty-Yann (9%) par rapport aux autres sites (2% et 3%).

Comme pour la campagne hivernale, la contribution en sels de mer est la plus importante sur le site de Macé lorsque les PM10 proviennent du Sud-Ouest et la part d'éléments non déterminés est la plus faible.

Les filtres ayant été exposés aux PM10 par vents de **Sud-Est** sont présentés dans le Tableau 34 ci-dessous. La composition chimique des particules prélevées sur les trois sites de mesure fixes est présentée ci-après (Figure 39).

On remarque que la part de carbone organique (OM) est très importante pour les trois sites de mesure (environ 45%). La part de sels de mer est très faible, ce qui indique que les PM10 prélevées sont majoritairement issues des terres. Le carbone organique peut être issue de sources anthropiques ou naturelles variées.

Tableau 34 : Sélection des filtres exposés aux PM10 par vents de Sud-Est - campagne estivale.

Campagne été	Exposition (PM10)	Vitesse de vent (m/s)	site SNCF [PM10] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	site Ty-Yann [PM10] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	site Macé [PM10] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
24/06/2023	Sud-Est	3,7	13,2	14	12,1

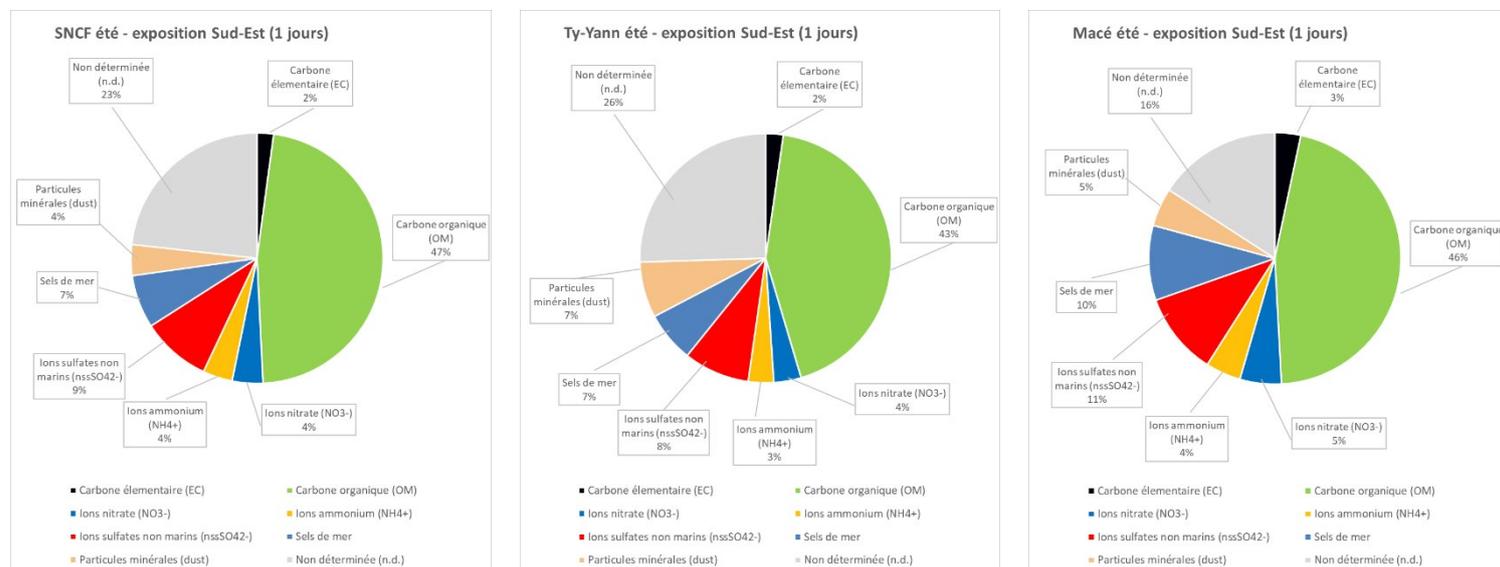


Figure 39 : Analyse de la composition chimique des PM10 par vents de Sud-Est

Lors de la campagne estivale, les résultats de la spéciation chimique montrent une part importante en carbone organique (OM) dans les particules PM10 (environ 30%). Le carbone organique peut être issue de sources anthropiques ou naturelles variées

Les contributions moyennes en ions sulfates (non-marins), nitrates, ammonium et carbone élémentaire (EC) sont très similaires entre les 3 sites de mesure

Le quartier Moulin Blanc est exposé à une part non négligeable de particules minérales (jusqu'à 9%) lorsque les vents proviennent du Sud-Ouest, en provenance de la zone industrielle portuaire. Il est possible que le poste sablier ou l'usine Guyot environnement (dans l'axe du site de mesure Ty-Yann) aient contribué à l'augmentation des niveaux en particules minérales sur cette campagne.

c) Résultats des mesures en Lévo-glucosan

La figure suivante présente les teneurs en Lévo-glucosan (traceur de la combustion biomasse) mesuré dans les PM10 pour les échantillons de la campagne estivale. L'échelle du graphique (en ng/m³) est différente par rapport à celle de la campagne hivernale.

On remarque une baisse significative des niveaux par rapport à la campagne hivernale, en raison d'une utilisation moins importante du chauffage en été.

Le Lévo-glucosan n'a pas été retrouvé sur les trois filtres étant exposés aux PM10 provenant du Nord (12/06/2023), ce qui indique l'absence de source provenant du milieu urbain pendant cette période.

La concentration la plus importante a été mesurée par vents de Sud-Est le 24/06/2023 sur le site SNCF. Les autres sites n'ont pas détecté la présence de Lévo-glucosan ce même jour. La rose des pollutions du 24/06/2023 (Figure 41) permet d'identifier une concentration importante en PM10 provenant du Sud-Est (zone industrielle portuaire – réparation navale). Ce même jour, des niveaux plus importants en SO₂ avait été relevés (voir chapitre V6 – résultats des mesures en SO₂).

Le 28/06/2023, on observe une augmentation des niveaux en Lévo-glucosan sur les 3 sites de mesure. Ce pic de concentration correspond au pic de PM10 remarqué pour les 3 sites (en particulier pour le site Ty-Yann) dans le chapitre V8 (résultats des mesures en PM10). La présence de Lévo-glucosan confirme (en partie) la nature de la source de pollution PM10 : la combustion de biomasse. Il se pourrait qu'une source accidentelle, de type incendie, soit responsable. Les émeutes urbaines qui ont eu lieu dans la nuit du 28 au 29 juin 2023 à Brest¹¹ pourraient être la cause de cette pollution.

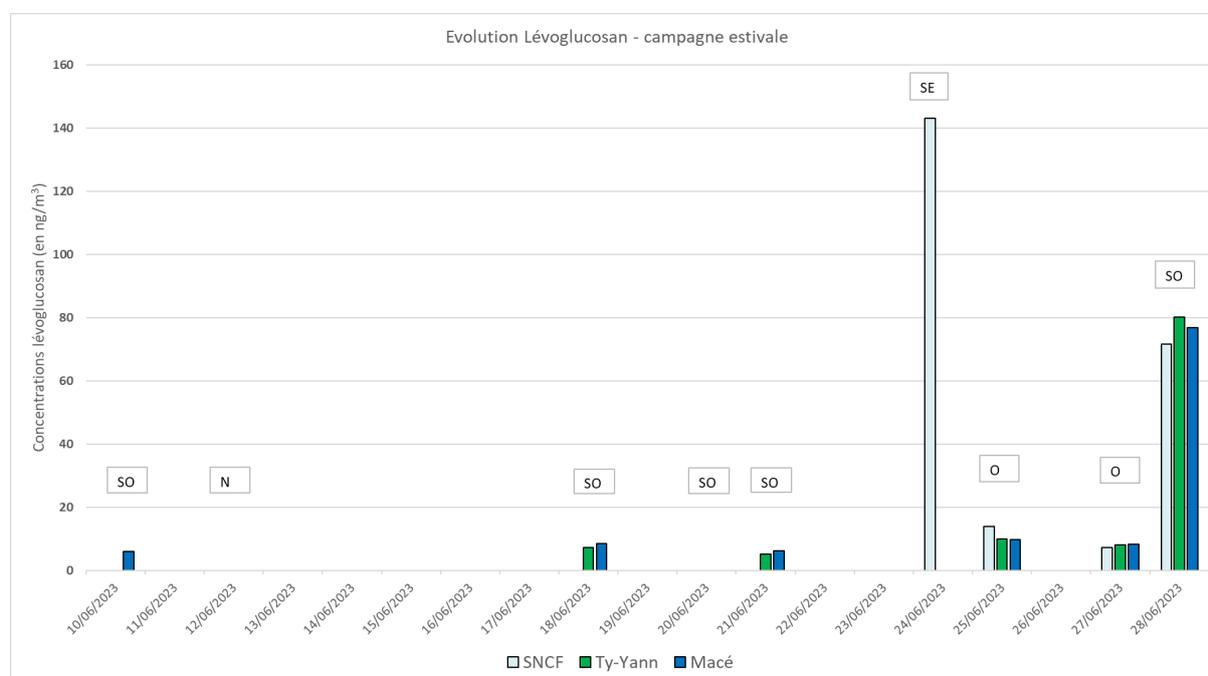


Figure 40 : Evolution du Lévo-glucosan sur les sites de mesure – campagne estivale

¹¹<https://www.finistere.gouv.fr/Actualites/Le-prefet-du-Finistere-condamne-les-nouvelles-violences-survenues-a-Brest>

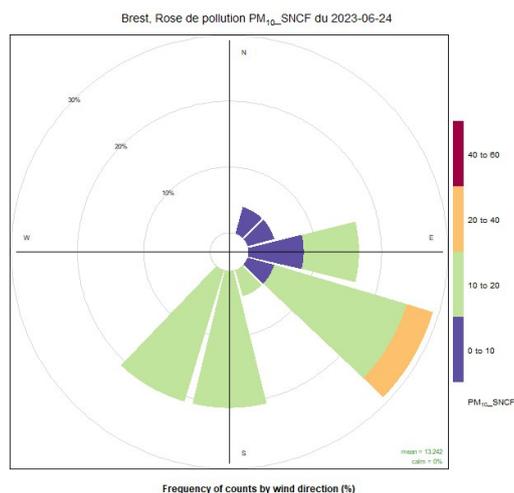


Figure 41 : Rose des pollutions, site SNCF, campagne estivale

Les niveaux en Lévoglucosan les plus importants ont été rencontrés quartier Saint-Marc, lorsque les vents provenaient du Sud-Est, en provenance zone industrielle portuaire. Ce même jour, des niveaux plus importants en SO₂ avait été relevés.

Une augmentation des niveaux a été remarquée par vents de Sud-Ouest, pour les 3 sites. Ce même jour, des concentrations importantes en PM10 avaient été relevées.

VII. SYNTHÈSE DES RÉSULTATS DE L'ÉTUDE

Les principaux résultats de cette étude sont présentés ci-après :

1. Contexte des mesures :

Le contexte permet d'évaluer le niveau de représentativité des mesures par rapport aux conditions normales.

- **Conditions météorologiques**

Pendant les deux campagnes de mesure, la partie Ouest de la zone d'étude a été peu exposée aux émissions du port (**quartier Brest centre**). En revanche, le quartier Moulin Blanc était normalement exposé, en particulier lors de la campagne hivernale avec des vents fort du Sud-Ouest. Les vents provenant du Sud étaient très faibles par rapport aux conditions normales, ce qui a diminué l'exposition des quartiers au Nord du port (notamment au site Bünge).

Les précipitations ont été en moyenne moins importantes sur les deux campagnes par rapport aux normales (normales 1991-2020).

Il est difficile de quantifier l'impact des conditions météorologiques sur les mesures réalisées lors de cette campagne car cet impact dépend du type de polluant considéré (particules / gaz) et peut-être augmenté ou annulé en fonction de l'occurrence des différents paramètres favorables ou défavorables.

- **Activité de la zone portuaire**

Réparation navale : le fonctionnement des grues a été retenu comme indicateur du niveau d'activité de la réparation navale. L'activité est jugée normale durant les deux campagnes de mesure (janvier et juin) au regard des moyennes des 3 dernières années. En été, l'activité des zones de réparation navale était bien supérieure à celle des deux années précédentes. En hiver, l'activité est proche de l'année précédente (2022) mais très supérieure à 2021.

Commerce : La manipulation de produits solides à l'origine possible d'envols de particules a été retenue comme indicateur du niveau d'activité de la partie commerciale du port. Le transit de vrac solide a été moins important en janvier 2023 par rapport à janvier 2022 et par rapport aux autres mois de l'année. En revanche, le transit estival de vrac solide de juin 2023 a été proche de celui de juin 2022.

Entreprise Bünge : La production de l'usine est soumise à peu de variation, à part lors de l'arrêt technique en septembre/octobre. L'activité de l'usine pendant les deux campagnes de mesure est donc jugée normale.

2. Résultats des mesures en NO₂ :

La valeur limite pour la protection de la santé humaine en moyenne annuelle (40 µg/m³) a été respectée pour tous les sites de mesure.

La valeur limite en moyenne horaire n'a jamais été dépassée sur les deux campagnes, pour les 4 sites de Brest. Cependant, les niveaux enregistrés sur les 4 sites de mesure fixe ont atteint ou dépassé la valeur guide de l'OMS en moyenne journalière lors de la campagne hivernale.

Sur la zone d'étude, les concentrations les plus élevées en NO₂ sont mesurées à proximité des sites avec un fort trafic routier : rue de l'Elorne (P5), rond-point Herman Melville (P24), proche de la D165 (P14), quai de la Douane (P4) et boulevard Gambetta (P30).

Concernant les sites de mesure fixe, les profils des concentrations en NO₂ mesurés sur les sites Ty-Yann (quartier Moulin Blanc) et SNCF (quartier Saint-Marc) sont proches de celui de la station Macé (**quartier Brest centre**) de typologie urbaine de fond.

On constate un possible impact de la zone portuaire Est (zone industrielle, réparation navale) sur les mesures des sites SNCF (quartier St-Marc) et Ty-Yann (quartier moulin Blanc) lorsque les vents viennent de ces sources.

Les concentrations en NO₂ relevés au quartier Saint-Marc (site SNCF) n'ont pas été particulièrement élevées par vents de Sud-Ouest, en provenance de l'entreprise Bünge, qui avait été identifiée comme étant une source majoritaire de la zone portuaire (étude préalable).

La **contribution majoritaire du trafic routier** dans les niveaux de dioxyde d'azote mesurés sur la zone d'étude a été mise en évidence à travers ces mesures. Excepté dans des conditions très particulières, les quartiers riverains semblent peu exposés aux émissions du port. En revanche, ils peuvent être exposés aux émissions liées au trafic routier à proximité.

Par ailleurs, le trafic maritime a pu contribuer à l'augmentation des niveaux en NO₂ sur la zone d'étude, de manière plus diffuse.

3. Résultats des mesures en COVNM :

Les concentrations en COVNM sont très faibles et sont bien inférieures aux valeurs sanitaires de référence (pour les polluants disposant de valeurs de référence).

Les niveaux en hexane sont légèrement plus élevés sur le point de mesure du quartier St Marc (site SNCF). Le site Bünge, à proximité, avait été identifié comme principale émetteur de la zone portuaire dans la phase préliminaire.

Plus généralement, les concentrations maximales mesurées sont légèrement plus élevées sur le point de mesure du Moulin Blanc (Ty-Yann) par rapport aux autres points de mesure. Dans l'étude préliminaire, les sites de stockage de gaz et de carburant (Primagaz, Imporgal et Stockbrest), situés à quelques centaines de mètres du point de mesure Ty-Yann, avaient été identifiés comme source de COVNM.

4. Résultats des mesures en métaux lourds (ML) :

Le site SNCF (quartier Saint-Marc) a été choisi pour rechercher la présence des métaux lourds dans les particules PM10 en raison de sa proximité aux zones de réparation navale (Forme 1 au Sud-Est ; Forme 2 et 3, quai de réparation 1 et 4 au Sud-Est).

Les mesures de métaux lourds réalisées quartier Saint-Marc (SNCF) sont bien inférieures aux valeurs réglementaires en vigueur. Les niveaux sont proches de ceux mesurés à Rennes (site urbain de fond).

Dans les conditions particulières des deux campagnes de mesure, le quartier Saint-Marc semble faiblement exposé aux métaux lourds potentiellement issus de la zone portuaire.

5. Résultats des mesures en SO₂ :

Les concentrations mesurées en SO₂ sur la zone d'étude sont très faibles au regard des valeurs limites réglementaires et proches des limites de quantification des appareils de mesure.

La partie Est du port, à proximité immédiate des sources (notamment stockage gaz), montre un léger impact sur les niveaux. La décroissance des concentrations est rapide et ne semble pas impacter les zones riveraines.

Une analyse plus fine, via la mesure en continu, permet de mettre en avant un impact ponctuel sur les sites riverains (quartier St Marc - site SNCF) dans des conditions particulières (vents provenant du Sud).

6. Résultats des mesures en particules sédimentables :

Les retombées en particules sédimentables les plus importantes ($> 50 \text{ mg/m}^2/\text{jour}$) ont été mesurées sur la zone portuaire, à l'exception des points proches du boulevard Gambetta (site P30) et de la D165 (site P14), probablement influencés par le trafic routier à proximité.

Les retombées les plus fortes ont été mesurées à proximité des sources :

- trafic routier : site proche du rond-point Herman Melville (P24)
- réparation navale : site sur la zone industrielle Est (P10 et P32) et proche de la Forme 1 (site P24)
- installations IREP : site proche de l'usine Bünge (P24 et P7), et sur la zone industrielle Est, à proximité de Guyot Environnement (P10) et des usines PRIMAGAZ et STOCKBREST (P32)

Pour ces sites, les moyennes annuelles estimées sont entre 93 et 110 $\text{mg/m}^2/\text{jour}$.

Il est difficile de quantifier la contribution de chaque activité de la zone portuaire dans ces retombées de particules sédimentables relevées sur les sites de prélèvement.

Lors de l'étude préalable, le terminal multi-vrac avait été identifié comme contributeur majoritaire de particules sédimentables. Bien que les sites de mesure à proximité soient impactés, **les niveaux relevés à l'extérieur du port, chez les riverains, sont faibles** (hors site de proximité au trafic routier).

7. Résultats des mesures en particules PM10 :

Les profils des concentrations en PM10 sont assez similaires entre les sites de mesure, avec des niveaux plus importants pour la station Desmoulins sur la campagne hivernale en raison de la typologie du site (urbain trafic).

Des concentrations importantes ont été remarquées sur le point de mesure du Moulin Blanc (site Ty-Yann) lors de la campagne estivale, ne correspondant pas au profil des autres sites de mesure.

D'après les roses des pollutions sur la période concernée (du 26 au 28/06/2023), la zone industrielle portuaire (Guyot Environnement, réparation navale, poste sablier) située au Sud-Ouest du site Ty-Yann pourrait avoir contribué à la hausse des concentrations en PM10 sur cette période.

Lors de l'étude préalable, les activités industrielles du terminal multi-vrac avaient été identifiées comme majoritaire dans les émissions en PM10 sur la zone portuaire. Cependant, il y a peu d'impact sur le quartier St-Marc au vu des niveaux mesurés en PM10 sur le site SNCF.

Les polars plot des deux périodes de mesure montrent des profils communs entre les sites de mesure, mettant en évidence une source lointaine de Sud-Ouest pendant la campagne hivernale (sels marins) et du secteur Est pendant la campagne estivale (carbone organique).

8. Résultats des mesures de la spéciation des particules PM10 :

On remarque que le quartier Moulin Blanc est exposé à une part non négligeable de particules minérale (jusqu'à 9 % en été) lorsque les vents viennent du Sud-Ouest, en provenance de la zone industrielle portuaire. Il est possible que le poste sablier ou l'usine Guyot environnement (dans l'axe du site de mesure Ty-Yann) ait contribué à l'augmentation des niveaux en particules minérales sur cette campagne.

Une contribution importante en carbone organique (OM) est visible (jusqu'à 30 % en moyenne estivale pour les 3 sites de mesure) lorsque les vents proviennent du secteur Est. Le carbone organique peut être issue de sources anthropiques ou naturelles variées.

Lors de la campagne hivernale, les résultats de la spéciation montrent une part importante de sels de mer dans les particules PM10 (environ la moitié). Les vents forts du Sud-Ouest ont favorisé l'exposition des quartiers proches du port aux embruns marin.

Les niveaux en Lévo-glucosan les plus importants ont été rencontrés l'hiver lorsque les vents provenaient du Nord-Est, en provenance de la ville. Le chauffage urbain est le contributeur principal des émissions en Lévo-glucosan en hiver.

Lors de la campagne estivale, les niveaux en Lévo-glucosan les plus importants ont été rencontrés quartier Saint-Marc, lorsque les vents provenaient du Sud-Est, en provenance de la zone industrielle portuaire. Ce même jour, des niveaux plus importants en SO₂ avait été relevés.

Cette étude fait état d'une situation au moment des mesures, mais ne permet pas de rendre compte de l'exposition pérenne des riverains. En effet, le contexte des mesures (activité du port, conditions météorologiques, etc.) est évolutif.

VIII. CONCLUSION

Les riverains du port et notamment du quartier Saint-Marc, se plaignent occasionnellement des nuisances occasionnées par les activités exercées dans la zone portuaire. Dans ce contexte, Brest Métropole a demandé à Air Breizh en 2022 de lancer des investigations afin d'améliorer les connaissances sur le niveau d'exposition des riverains.

- **Rappel du protocole :**

Deux volets ont été proposés : une première phase d'identification des sources d'émissions (nature et localisation) qui a fait l'objet d'une restitution en 2022¹².

A partir de ces conclusions, une seconde phase de travaux a été menée via la réalisation de mesure de qualité de l'air. Le protocole d'échantillonnage a été conçu sur la base des enseignements de la phase I.

Deux campagnes de mesure ont été menées à différentes périodes de l'année, afin de garantir une bonne représentativité des résultats :

- 1^{ère} campagne dite 'hivernale' : du 12 janvier au 09 février 2023
- 2nd campagne dite 'estivale' : du 01 juin au 29 juin 2023

Les polluants à enjeux sanitaires ont été mesurés sur la zone d'étude, au plus proche des sources d'émission et dans les quartiers résidentiels autour de la zone portuaire (quartier Saint-Marc, quartier Moulin Blanc et quartier Brest centre), pour évaluer l'impact des activités du port sur la qualité de l'air des quartiers riverains.

Il est à noter que pendant les deux campagnes de mesure, la partie Ouest de la zone d'étude a été faiblement exposée aux émissions du port (quartier Brest centre). De plus, les vents provenant du Sud étaient très faibles par rapport aux conditions normales, ce qui a diminué l'exposition du quartier St Marc situé au Nord du port (notamment au site Bünge).

- **Comparaison des résultats aux valeurs de référence**

Pour tous les polluants recherchés, les valeurs limites pour la protection de la santé humaine n'ont jamais été dépassées sur les sites de mesure de la zone d'étude.

En revanche, les niveaux enregistrés en dioxyde d'azote (NO₂) sur les 3 sites de mesure fixe (Brest centre, Saint-Marc et Moulin Blanc) ont atteint ou dépassé la valeur guide de l'OMS en moyenne journalière lors de la campagne hivernale. **Le NO₂ est majoritairement émis par le trafic routier sur la zone d'étude.**

Sur la zone d'étude, les retombées en particules sédimentables les plus importantes ont été mesurées sur la zone portuaire, à proximité des sources (réparation navale, installation IREP). Bien que les sites de mesure à proximité des sources soient impactés, **les niveaux relevés à l'extérieur du port, dans les quartiers riverains, sont faibles** (hors site de proximité au trafic routier).

¹² <https://www.airbreizh.asso.fr/publication/brest-impact-des-emissions-du-port-sur-la-qualite-de-lair-phase-i-analyse-des-donnees-existantes/>

Le quartier Saint-Marc est légèrement impacté par les émissions d'Hexane, probablement émis par le site Bünge (identifié comme émetteur principale lors de l'étude préalable). **Un impact ponctuel en SO₂** sur le quartier Saint-Marc est visible dans des conditions particulières (vents provenant du Sud). Il est possible que le trafic maritime ait contribué à l'augmentation de ces niveaux car ce secteur est la principale source de SO₂ sur la zone portuaire (identifié dans l'étude préalable). **Il est à noter que les niveaux mesurés en Hexane et en SO₂ sont bien en dessous des valeurs de référence.**

Les niveaux en particules fines et particules sédimentables mesurés dans ce quartier ne semblent pas impactés par les activités portuaires.

La topographie du secteur (quartier en surélévation par rapport au port) justifie probablement cette décroissance rapide des niveaux depuis les sources notamment pour les particules.

Au niveau du quartier du Moulin Blanc, des augmentations ponctuelles des niveaux de particules PM10 ont été observées. Les analyses de la composition chimique de ces particules a permis de mettre en évidence une contribution importante de la fraction minérale au sein de ces particules, et ce lorsque les vents sont en provenance de la zone industrielle portuaire (Ouest). Les activités du poste sablier ou de l'usine Guyot environnement (dans l'axe du site de mesure Ty-Yann) pourraient contribuer à cette exposition.

Le quartier Brest centre (station Macé) présente des niveaux représentatifs d'une typologie urbaine de fond. Les concentrations mesurées semblent peu impactées par les émissions de la zone portuaire. En raison des conditions météorologiques rencontrées pendant les campagnes (direction des vents), la partie Ouest de la zone d'étude a été faiblement exposée aux émissions du port.

- **Perspectives :**

Cette étude a été centrée sur la mesure des polluants à effet sanitaire. Les résultats ont permis de confirmer la présence des sources d'émissions. En revanche, l'impact des activités du port sur la qualité de l'air des quartiers riverains est globalement peu significatif.

L'opportunité d'un déploiement d'une méthode de surveillance plus intégrative telle que la biosurveillance pourrait également être étudiée, ce qui permettrait d'assurer un suivi régulier de l'impact des émissions des activités portuaires.

Par ailleurs, les plaintes des riverains concernaient également les odeurs. Dans la continuité de ce travail, une caractérisation des nuisances olfactives pourrait être lancée via notamment le déploiement d'un outil de signalement et la constitution d'un observatoire afin de répertorier les plaintes et cartographier les zones sensibles aux nuisances.

IX. EVOLUTIONS REGLEMENTAIRES A VENIR

Le 14 octobre 2024, une nouvelle directive européenne relative à la qualité de l'air ambiant a officiellement été adoptée par le Conseil de l'Union européenne¹³.

Cette Directive redéfinit les seuils de référence à respecter en 2030 pour certains polluants étudiés lors de cette étude (NO₂, SO₂ et PM10). Le Tableau 35 permet de situer les niveaux mesurés aux sites de mesure fixe par rapport aux nouveaux seuils de référence proposés dans cette nouvelle Directive. Un code couleur (vert/rouge) permet de visualiser le respect ou le non-respect des nouveaux seuils.

Tableau 35 : Comparaison des niveaux mesurés lors de cette étude aux seuils de la nouvelle Directive européenne à respecter en 2030 (approuvée le 14/10/24)

Polluants	Moyenne	Réglementation actuelle	Objectif 2030 (nouvelle Directive)	Quartier Saint-Marc (SNCF)	Quartier Moulin Blanc (Ty-Yann)	Quartier Brest Centre (Macé - UF*)	Station trafic Desmoulins - UT**
				en µg/m ³			
NO ₂	annuelle	40	20	moyenne annuelle estimée = 10	moyenne annuelle estimée = 14	moyenne annuelle estimée = 13	moyenne annuelle estimée = 24
	journalière	/	50 (à ne pas dépasser plus de 18j/an)	max journalier (été + hiver) = 25	max journalier (été + hiver) = 25	max journalier (été + hiver) = 38	max journalier (été + hiver) = 50
	horaire	200 (à ne pas dépasser plus de 18 h/an)	200 (à ne pas dépasser plus d'une h/an)	max horaire (été + hiver) = 57	max horaire (été + hiver) = 77	max horaire (été + hiver) = 75	max horaire (été + hiver) = 97
SO ₂	annuelle	/	20	/	/	/	/
	journalière	125 (à ne pas dépasser plus de 3 j/an)	50 (à ne pas dépasser plus de 18 j/an)	/	/	max journalier (été + hiver) = 3	/
	horaire	350 (à ne pas dépasser plus de 18 h/an)	350 (à ne pas dépasser plus d'une h/an)	/	/	max horaire (été + hiver) = 6	/
PM10	annuelle	40	20	moyenne annuelle estimée = 14	moyenne annuelle estimée = 17	moyenne annuelle estimée = 15	moyenne annuelle estimée = 22
	journalière	50 (à ne pas dépasser plus de 35 j/an)	45 (à ne pas dépasser plus de 18 j/an)	max journalier (été + hiver) = 29	max journalier (été + hiver) = 33	max journalier (été + hiver) = 26	max journalier (été + hiver) = 46

*UF : station Urbaine de Fond

** UT : station Urbaine Trafic

Au vu de ce tableau, les trois quartiers riverains de la zone d'étude présentent des niveaux en dessous des nouveaux seuils proposés par la CE.

En revanche, la station trafic Desmoulins (Place Albert 1^{er}) montre des dépassements des seuils annuel et journalier pour le NO₂ et les particules PM10 en lien avec sa proximité au trafic routier.

Il est à noter que le projet de développement du nouveau réseau de transports de la métropole brestoïse aura probablement un impact sur la spatialisation des émissions liés au trafic routier.

Les niveaux en NO₂ mesurés sur la zone d'étude (mesures passives) sont présentés sur la Figure 42. Ils sont comparés aux seuils de la nouvelle Directive européenne.

Sur la zone d'étude, les dépassements du nouveau seuil NO₂ (20 µg/m³ en moyenne annuelle) sont observés à proximité des sites avec un fort trafic routier : rue de l'Elorne (P5), rond-point

¹³ <https://www.consilium.europa.eu/fr/press/press-releases/2024/10/14/air-quality-council-gives-final-green-light-to-strengthen-standards-in-the-eu/>

Herman Melville (P24), proche de la D165 (P14), quai de la Douane (P4) et boulevard Gambetta (P30).

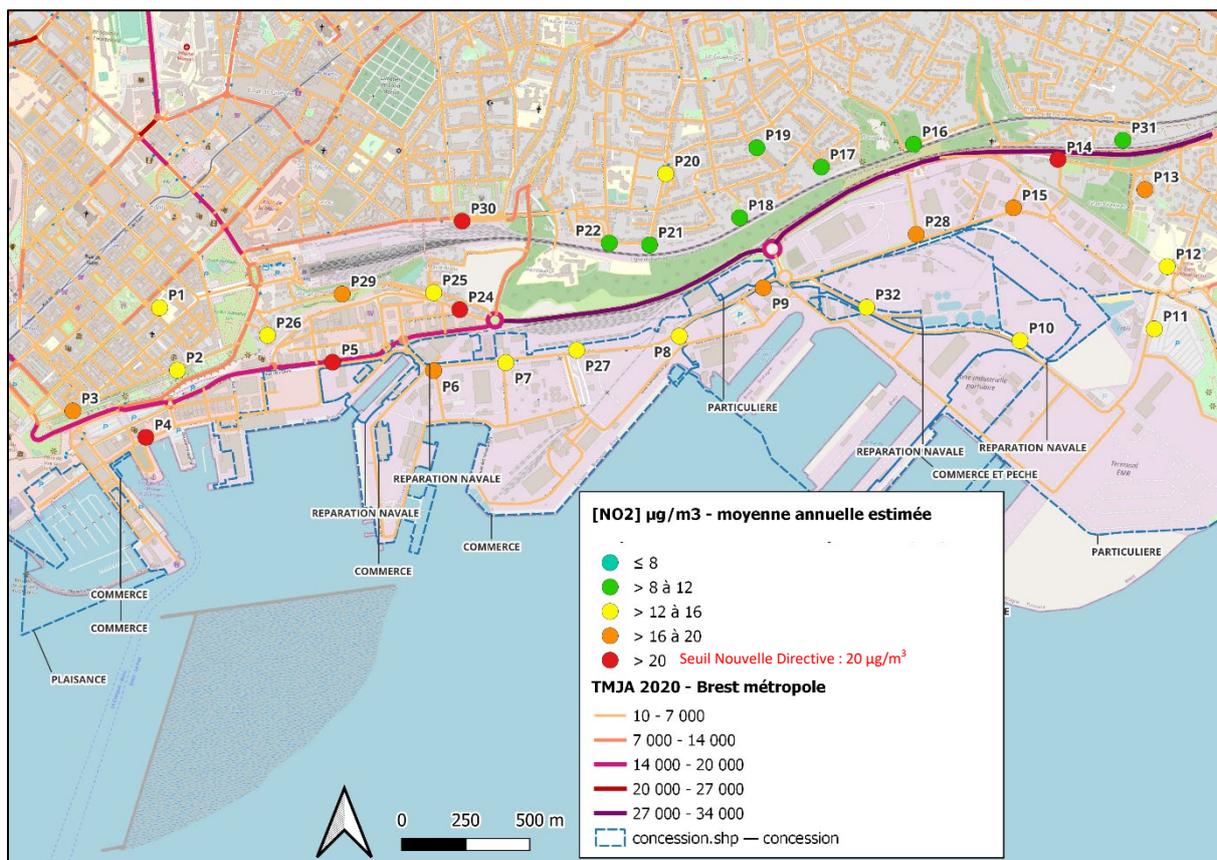


Figure 42 : Carte des concentrations moyennes annuelles en NO₂ estimées sur la zone d'étude (moyenne annuelle estimée en µg/m³) – comparaison au seuil de la nouvelle Directive Européenne

ANNEXES

ANNEXE 1 : Présentation d'Air Breizh	84
ANNEXE 2: Photo et emplacement des sites de mesure	86
ANNEXE 3: Lecture des roses de pollution.....	92
ANNEXE 4 : Résultats des mesures passives en NO ₂ et SO ₂	93
ANNEXE 5 : Sélection des filtres pour la spéciation chimique	94

ANNEXE 1 : PRESENTATION D'AIR BREIZH

La surveillance de la qualité de l'air est assurée en France par des associations régionales, constituant le dispositif national représenté par la Fédération ATMO France,

Ces organismes, agréés par le Ministère de la Transition écologique et solidaire, ont pour missions de base, la mise en œuvre de la surveillance et de l'information sur la qualité de l'air, la diffusion des résultats et des prévisions, et la transmission immédiate au Préfet et au public, des informations relatives aux dépassements ou prévisions de dépassements des seuils de recommandation et d'information du public et des seuils d'alerte,

En Bretagne, cette surveillance est assurée par Air Breizh depuis 1986,

Le réseau de mesure s'est régulièrement développé et dispose en 2017, de 18 stations de mesure, réparties sur le territoire breton, ainsi que d'un laboratoire mobile, de cabines et de différents préleveurs, pour la réalisation de campagnes de mesure ponctuelles,

L'impartialité de ses actions est assurée par la composition quadripartite de son Assemblée Générale regroupant quatre collègues :

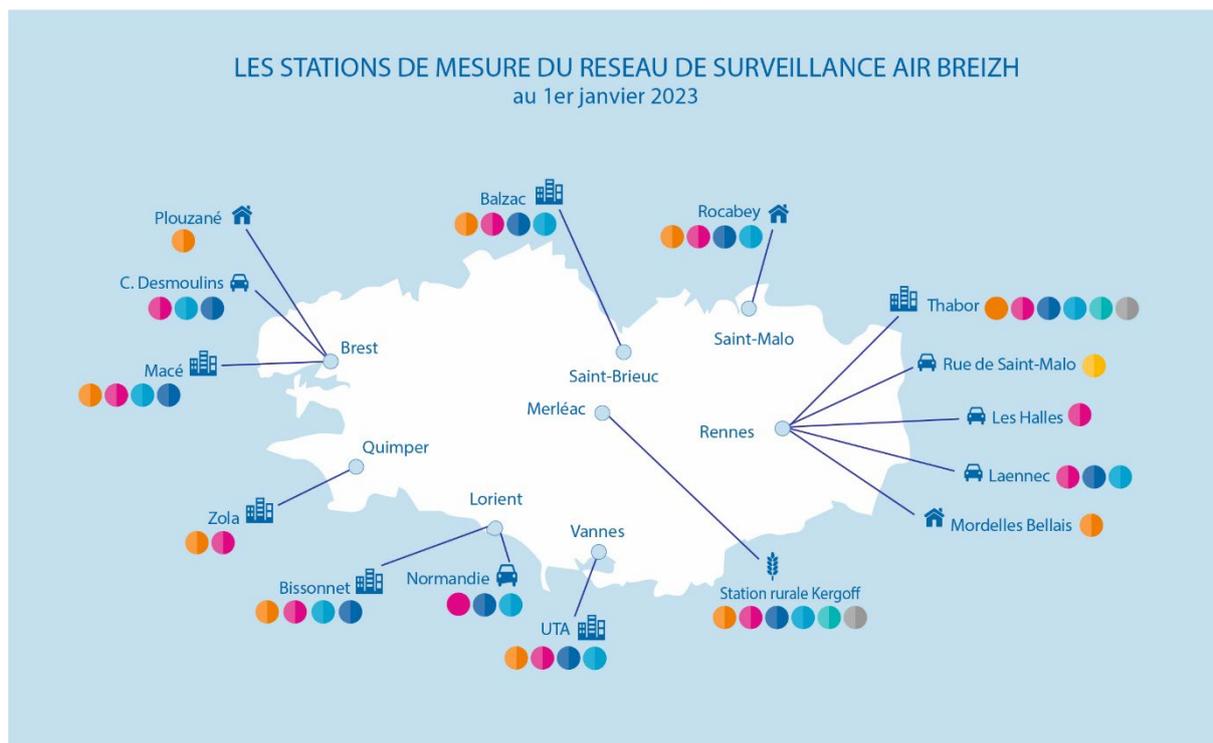
- Collège 1 : services de l'Etat,
- Collège 2 : collectivités territoriales,
- Collège 3 : émetteurs de substances polluantes,
- Collège 4 : associations de protection de l'environnement et personnes qualifiées,

Missions d'Air Breizh

- Surveiller les polluants urbains nocifs (SO₂, NO₂, CO, O₃, Métaux lourds, HAP, Benzène, PM₁₀ et PM_{2,5}) dans l'air ambiant,
- Informer la population, les services de l'Etat, les élus, les industriels..., notamment en cas de pic de pollution, Diffuser quotidiennement l'indice ATMO, sensibiliser et éditer des supports d'information : plaquettes, site web...,
- Etudier l'évolution de la qualité de l'air au fil des ans, et vérifier la conformité des résultats par rapport à la réglementation,
- Apporter son expertise sur des problèmes de pollutions spécifiques et réaliser des campagnes de mesure à l'aide de moyens mobiles (laboratoire mobile, tubes à diffusion, préleveurs, jauges OWEN...) dans l'air ambiant extérieur et intérieur,

Réseau de surveillance en continu

La surveillance de la qualité de l'air pour les polluants réglementés est assurée via des d'analyseurs répartis au niveau des grandes agglomérations bretonnes, Ce dispositif est complété par d'autres outils comme l'inventaire et la modélisation, qui permettent d'assurer une meilleure couverture de notre région,



POLLUANTS MESURÉS

-  Oxydes d'azote
-  PM 10
-  PM 2,5
-  Benzène
-  Ozone
-  HAP
-  Métaux lourds

TYPE DE STATION

-  Urbaine trafic
-  Périurbaine de fond
-  Urbaine de fond
-  Rurale de fond

Implantation des stations de mesure d'Air Breizh (au 01/01/23)

Moyens

Afin de répondre aux missions qui lui incombent, Air Breizh compte seize salariés, et dispose d'un budget annuel de l'ordre de 2 millions d'euros, financé par l'Etat, les collectivités locales, les émetteurs de substances polluantes, et des prestations d'intérêt général et produits divers.

ANNEXE 2: PHOTO ET EMLACEMENT DES SITES DE MESURE

Les photos et les coordonnées des sites de mesure sont présentées dans le Tableau 36 ci-dessous.

Tableau 36 : Photos et coordonnées des points de mesure

Points de mesure	Photos	coordonnées	
		longitude	latitude
Site P22 « SNCF »		148088,45	6836021,39
Site P12 « Ty-Yann »		149994,84	6835940,27
Site P2		146612,28	6835583,21
Site P5		147142,96	6835610,93

<p>Site P6</p>		<p>147488,22</p>	<p>6835581,5</p>
<p>Site P7</p>		<p>147734,8</p>	<p>6835609,45</p>
<p>Site P8</p>		<p>148327,98</p>	<p>6835700,57</p>
<p>Site P9</p>		<p>148614,51</p>	<p>6835867,69</p>

Site P10		149491,84	6835685,27
Site P11		149950,76	6835725,61
Site P13		149918,77	6836205,37
Site P14		149621,52	6836309,4

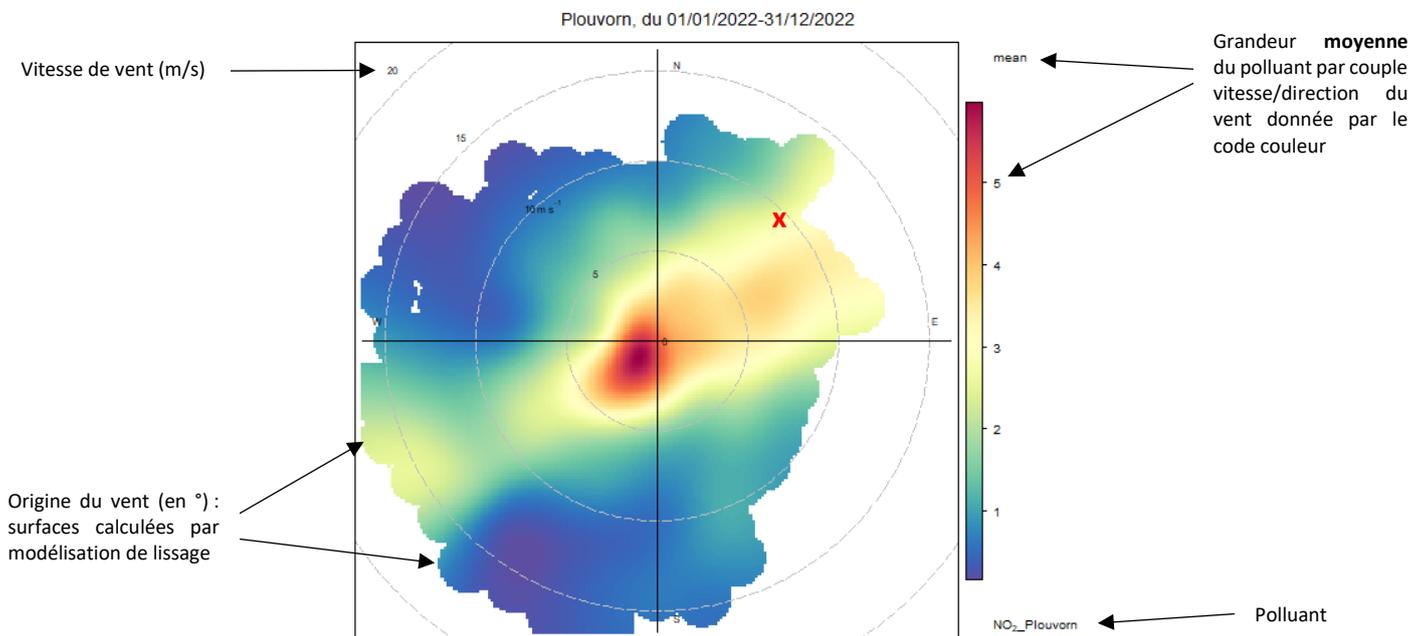
<p>Site P15</p>		<p>149469,69</p>	<p>6836142,89</p>
<p>Site P16</p>		<p>149128,27</p>	<p>6836361,65</p>
<p>Site P17</p>		<p>148813</p>	<p>6836283,2</p>
<p>Site P18</p>		<p>148533,98</p>	<p>6836108,67</p>

<p>Site P19</p>		<p>148592,52</p>	<p>6836349,87</p>
<p>Site P20</p>		<p>148281,36</p>	<p>6836259,89</p>
<p>Site P21</p>		<p>148226,16</p>	<p>6836015,03</p>
<p>Site P27</p>		<p>147976,85</p>	<p>6835652,36</p>

<p>Site P28</p>		<p>149137,58</p>	<p>6836051,5</p>
<p>Site P31</p>		<p>149843,42</p>	<p>6836375,72</p>
<p>Site P32</p>		<p>148968,12</p>	<p>6835800,26</p>

ANNEXE 3: LECTURE DES ROSES DE POLLUTION

Les roses de pollution sont réalisées grâce au package Openair du logiciel R.



Exemple de lecture (**X**) : concentration moyenne en dioxyde d'azote de 3 µg/m³ (cf échelle de couleur) pour des vents de Nord-Est à une vitesse de 10 m/s

ANNEXE 4 : RESULTATS DES MESURES PASSIVES EN NO₂ ET SO₂

Tableau 37 : Résultats des séries de mesure (NO₂ en µg/m³) – campagne estivale et hivernale

Campagne été (du 01/06 au 29/06/2023)	Série 1	Série 2	Série 3	Série 4	Moyenne mensuelle	Campagne hiver (du 12/01 au 09/02/2023)	Série 1	Série 2	Série 3	Série 4	Moyenne mensuelle
P24	23	28	24	21	24	P24	27	45	41	21	33
P14	12	20	20	19	18	P5	25	37	35	33	33
P30	9	17	21	22	17	Desmoulin	27	36	33	33	32
P5	11	21	18	16	17	P14	24	32	33	30	30
Analyseur Desmoulin	11	16	17	18	15	P4	18	33	29	29	27
P4	14	17	14	14	15	P29	18	26	30	33	27
P28	7	14	22	15	15	P9	20	30	29	28	27
P15	6	16	20	16	15	P3	17	30	29	26	25
P32	7	14	17	16	13	P30	25	28	29	17	24
P29	12	15	12	11	12	P15	19	26	25	26	24
P9	9	13	13	13	12	P6	15	30	25	24	23
P6	11	14	10	12	12	P13	16	27	26	23	23
P27	8	11	14	12	11	P28	19	23	25	25	23
P7	9	12	11	13	11	P26	17	24	24	25	22
P3		9	10	12	10	P8	16	26	24	22	22
P13	7	12	12	9	10	P7	13	27	22	24	21
P2	7	12	11	10	10	P10	21	18	22	22	21
P25	7		11	11	10	P2	15	24	23	21	21
P8	8	11	10	11	10	P25	14	24	22	22	20
P26	6	11	11	11	10	P1	13	26	21	19	20
P20	7	9	12	10	9	Macé	13	25	20	21	19
P10	4	9	14	11	9	P32	18	21	23	15	19
P16	5	10	13	9	9	P27	10		24	24	19
P31	4	10	12	10	9	P11	16	19	19	21	19
P12	6	7	15	8	9	P20	13	22	18	20	18
P11	6	7	9	9	8	P12	14	19	19	20	18
Analyseur Macé	7	8	8	7	8	P19	11	19	16	16	16
P1	7	8	9	8	8	P31	13	12	14	22	16
P17	4	8	10	8	8	P17	10	17	17	17	15
P18		7	7	8	7	P21	10	17	15	15	14
P19	5	7	8	8	7	P16	11	15	15	15	14
P22	4	7	8	8	7	P22	9	17	14	15	14
P21	5	8	8	7	7	P18	9	16	13	15	13

Tableau 38 : Résultats des séries de mesure (SO₂ en µg/m³) – campagne estivale et hivernale

Campagne été (du 01/06 au 29/06/2023)	Série 1	Série 2	Série 3	Série 4	Moyenne mensuelle	Campagne hiver (du 12/01 au 09/01/2023)	Série 1	Série 2	Série 3	Série 4	Moyenne mensuelle
P28	0,8	3,9	2,9	3,5	2,8	P15	5,2	0,9	0,8	0,8	1,9
*P22 (SNCF)	1,4	1,5	1,6	1,8	1,6	P28	3,1	1,7	0,8	0,8	1,6
P5	0,8	0,8	0,8	1,3	0,9	P6	3,0	0,8	0,8	0,8	1,4
P15	0,8	0,8	1,1	0,8	0,9	P5	1,0	0,8	0,8	0,8	0,9
P10	0,8	0,8	1,0	1,0	0,9	P22	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
P20	0,8	0,9	0,8	1,0	0,9	P30	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
P12	0,8	0,8	0,8	0,9	0,8	P29	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
P29	0,8	0,8		0,8	0,8	P24	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
P22	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	P20	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
P24	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	P18	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
P16	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	P16	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
P9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	P10	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
P27	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	P12	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
P30	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	P9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
P6	0,8	0,8	0,8		0,8	P27	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
P18		0,8	0,8		0,8	*P22 (SNCF)	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1

 Absence de mesure (tube endommagé ou perte)

 Résultat d'analyse inférieur à la limite de quantification du laboratoire

ANNEXE 5 : SELECTION DES FILTRES POUR LA SPECIATION CHIMIQUE

Tableau 39 : Caractéristiques des filtres choisis pour la spéciation chimique des PM10 – campagne hiver

Campagne hiver	Exposition (PM10)	Vitesse de vent (m/s)	site SNCF [PM10] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	site Ty-Yann [PM10] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	site Macé [PM10] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
13/01/2023	Ouest	5,6	15,9	19,1	/
14/01/2023	Sud-Ouest	8,3	11,5	15,0	15,6
15/01/2023	Ouest	8,4	9,9	13,6	14,4
20/01/2023	Sud-Est	2,6	8,3	/	13,7
21/01/2023	Est	3,1	7,9	/	10,8
28/01/2023	Nord-Est	2,5	10,4	11,8	11,1
29/01/2023	Sud-Ouest	2,5	7,7	12,2	13,0
31/01/2023	Ouest-Eparse	2,6	/	14,9	/
01/02/2023	Ouest	2,6	18,3	20,7	19,4
02/02/2023	Sud-Ouest	2,5	8,3	17,1	9,7
06/02/2023	Est	4,1	/	/	13,2
08/02/2023	Nord-Est	1,4	/	24,8	/

Tableau 40 : Caractéristiques des filtres choisis pour la spéciation chimique des PM10 – campagne été

Campagne été	Exposition (PM10)	Vitesse de vent (m/s)	site SNCF [PM10] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	site Ty-Yann [PM10] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	site Macé [PM10] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
10/06/2023	Sud-Ouest	4,0	12,2	12,7	8,2
12/06/2023	Nord	2,9	11,6	9,2	9
18/06/2023	Sud-Ouest	3,6	12,1	11	10,5
19/06/2023	Sud	2,9	/	/	10,6
20/06/2023	Sud-Ouest	4,0	11,6	13,7	/
21/06/2023	Sud-Ouest	3,5	11,5	17,6	8,4
24/06/2023	Sud-Est	3,7	13,2	14	12,1
25/06/2023	Ouest	4,6	13,9	17,2	12,6
27/06/2023	Sud-Ouest	2,8	17,6	24,1	13
28/06/2023	Sud-Ouest	3,0	22,6	27,4	20