



Etat initial de la qualité de l'air

Zones d'Aménagement Concerté De Gaulle et Houssaye à Saint-Malo (35)

Version du 13/11/25

Etude réalisée par Air Breizh
À la demande de la ville de Saint-Malo

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 ZAC CDG / Houssaye		
Version (date)	Modifications	Auteur	Validation
<i>Version du 13/11/25</i>	Modification des tableaux 15, 16 et 17	O. Cesbron (Chef de projet)	
<i>Version du 06/09/24</i>	Création	F. Moreau (ingénieur d'études)	O. Cesbron (Chef de projet) G. Lefeuvre (Directeur)

Relecture externe

J. LUDMANN
(Responsable du Pôle Urbanisme Opérationnel - Direction de l'aménagement et de l'urbanisme)

Table des matières

Avertissements.....	2
Conditions de diffusion	2
Organisation interne – contrôle qualité.....	2
Relecture externe.....	2
I. Introduction.....	6
II. Présentation de la zone d'étude :	7
II1. La ville de Saint-Malo	7
II2. Description des zones d'étude	8
III. Matériel et méthode	9
III1. Polluants susceptibles d'être retrouvés à Saint-Malo	9
III1. Présentation des polluants étudiés.....	10
III2. Technique de mesure	11
III3. Présentation du plan d'échantillonnage	11
III4. Dates des campagnes de mesure.....	13
III5. Réglementation	13
IV. Contexte des mesures	15
IV1. Conditions météorologiques	15
IV2. Choix des périodes de mesure	19
IV3. Influence de l'activité de la zone d'étude sur les sites de mesure	20
V. Résultats et interprétation	23
V1. Seuils de référence	23
V2. Contrôle qualité des résultats	23
V3. Résultats des mesures en dioxyde d'azote (NO ₂)	26
V4. Résultats des mesures en ammoniac (NH ₃)	34
V5. Résultats des mesures en particules PM _{2,5}	36
V6. Résultats des mesures en particules PM ₁₀	40
VI. Synthèse des résultats de l'étude	43
Conclusion	45
Annexes	48
ANNEXE 1 : Présentation d'Air Breizh	49
ANNEXE 2: Photo et emplacement des sites de mesure	51
ANNEXE 3 : Résultats des mesures passives en NO ₂	58
ANNEXE 4: Spatialisation des niveaux en NO ₂ (échelle CE 2030)	59

ANNEXE 5 : Modélisation des concentrations en NO₂ à proximité de la ZAC CDG (2017-2019)

60

Index des Figures

Figure 1 : Côte Bretagne Nord – Localisation de la ville de Saint-Malo [data.gouv.fr]	7
Figure 2 : ZAC du Général de Gaulle (CCTP Saint-Malo).....	8
Figure 3 : ZAC de la Houssaye (CCTP Saint-Malo)	8
Figure 4 : Inventaire des émissions (Air Breizh, ISEA V5.1).....	9
Figure 5 : Plan d'échantillonnage	12
Figure 6 : Comparaison des conditions de vents pendant la campagne hivernale aux normales mensuelles (avril)16	
Figure 7 : Comparaison des conditions de vents pendant la campagne estivale aux normales mensuelles (mai)..16	
Figure 8 : Evolution des températures et des cumuls de précipitations (moyenne journalière), campagne hiver (gauche) et été (droite).....	18
Figure 9 : Evolution mensuelle des niveaux en PM ₁₀ , en PM _{2,5} et en NO ₂ à la station Rocabey	19
Figure 10 : ICPE et IREP sur la zone d'étude (Géorisques)	21
Figure 11 : travaux à proximité du laboratoire mobile, ZAC de la Houssaye.....	21
Figure 12 : Carte du TMJA (2018) sur les 2 zones d'étude (gauche : ZAC CDG ; droite : ZAC de la Houssaye)22	
Figure 13 : Histogramme des moyennes annuelles estimées en NO ₂ – ZAC CDG (µg/m ³).....	28
Figure 14 : Histogramme des moyennes annuelles estimées en NO ₂ – ZAC de la Houssaye (µg/m ³)	28
Figure 15 : Carte des concentrations moyennes annuelles en NO ₂ estimées sur la zone d'étude (moyenne des deux campagnes en µg/m ³ , échelle réglementaire).....	29
Figure 16 : Carte des concentrations moyennes annuelles en NO ₂ estimées sur la zone d'étude (moyenne des deux campagnes en µg/m ³ , échelle réglementaire).....	30
Figure 17 : Box plot des concentrations en NO ₂ mesurées sur les deux campagnes (données horaires)	32
Figure 18 : Evolution journalière des concentrations en NO ₂ lors de la campagne hivernale (µg/m ³).....	32
Figure 19 : Evolution journalière des concentrations en NO ₂ lors de la campagne estivale (µg/m ³).....	33
Figure 20 : Box plot des concentrations en NH ₃ mesurées sur les deux campagnes (données horaires)	34
Figure 21 : Evolution journalière des concentrations en NH ₃ lors de la campagne hivernale (µg/m ³).....	35
Figure 22 : Evolution journalière des concentrations en NH ₃ lors de la campagne estivale (µg/m ³).....	35
Figure 23 : Box plot des concentrations en PM _{2,5} mesurées sur les deux campagnes (données horaires)	37
Figure 24 : Evolution journalière des concentrations en PM _{2,5} lors de la campagne hivernale (µg/m ³)	38
Figure 25 : Evolution journalière des concentrations en PM _{2,5} lors de la campagne estivale (µg/m ³).....	39
Figure 26 : Box plot des concentrations en PM ₁₀ mesurées sur les deux campagnes (données horaires)	41
Figure 27 : Evolution journalière des concentrations en PM ₁₀ lors de la campagne hivernale (µg/m ³)	42
Figure 28 : Evolution journalière des concentrations en PM ₁₀ lors de la campagne estivale (µg/m ³).....	42
Figure 29 : Carte des concentrations moyennes annuelles en NO ₂ estimées sur la zone d'étude (moyenne des deux campagnes en µg/m ³ , échelle CE objectif 2030)	59
Figure 30 : Carte des concentrations moyennes annuelles en NO ₂ estimées sur la zone d'étude (moyenne des deux campagnes en µg/m ³ , échelle CE objectif 2030)	59

Figure 31 : Modélisation des moyennes annuelles en NO₂ sur la zone d'étude [Modélisation Air Breizh 2021] – échelle CE 203060

Index des tableaux

Tableau 1 : Présentation des polluants mesurés pendant les campagnes	10
Tableau 2 : Techniques de mesure des polluants	11
Tableau 3 : Dates des séries de prélèvement (mesure passive NO ₂) lors des deux campagnes de mesure	13
Tableau 4 : Tableau de synthèse des valeurs guides et réglementaires des polluants étudiés.	14
Tableau 5 : Synthèse météorologique (campagne hivernale) et comparaison aux normales (mois de mars/avril).	17
Tableau 6 : Synthèse météorologique (campagne estivale) et comparaison aux normales (mois de mai/juin). 17	
Tableau 7 : ICPE et IREP présent sur la zone d'étude (Géorisques).	20
Tableau 8 : Taux de couverture (Tc) des appareils (données horaires), pour les deux campagnes de mesure .	24
Tableau 9 : Intercomparaison des tubes passif (NO ₂)	25
Tableau 10 : Comparaison de la mesure passive avec la mesure en continu (analyseur de référence).....	25
Tableau 11 : Résultats des mesures en NO ₂ sur les deux campagnes.	26
Tableau 12 : Statistiques des séries de mesure passive (NO ₂ en µg/m ³).....	27
Tableau 13 : Synthèse statistique des mesures en NO ₂ (µg/m ³).	31
Tableau 14 : Synthèse statistique des mesures en NH ₃ (µg/m ³).	34
Tableau 15 : Synthèse statistique des mesures en PM _{2,5} (µg/m ³).....	36
Tableau 16 : Synthèse statistique des mesures en PM ₁₀ (µg/m ³).....	40
Tableau 17 : Comparaison des niveaux mesurés lors de cette étude aux valeurs de référence.	46
Tableau 18 : Photos et coordonnées des points de mesure	51
Tableau 19 : Résultats des séries de mesure (NO ₂ en µg/m ³) – campagnes estivale et hivernale.....	58

I. INTRODUCTION

La ville de Saint-Malo prévoit la création de deux Zones d'Aménagement Concerté (dites ZAC) comme suit :

- **ZAC du Général de Gaulle :**

D'une surface de 17 hectares, cette zone correspond à ce jour à une zone d'activité (ZI Sud) composée de concession automobiles, d'entreprises artisanales et industrielles (Usine Timac, laiterie Malo). Elle est limitée à l'Est par le Boulevard du Général de Gaulle dont le niveau de trafic est significatif (de l'ordre de 25 000 véhicules par jour).

Saint-Malo projette de transformer cette zone en un quartier mixte avec notamment l'arrivée de 800 logements.

- **ZAC de la Houssaye :**

Cette zone représente une surface d'environ 20 hectares majoritairement dédiée aux activités agricoles. A noter la présence de quelques commerces.

Le périmètre de cette future ZAC n'est pas encore défini précisément. Elle sera majoritairement destinée à l'habitat.

La ville de Saint-Malo, en tant qu'aménageur, est questionnée par l'Autorité Environnementale sur l'état de la qualité de l'air de la future ZAC De Gaulle.

Pour la ZAC de la Houssaye, le dossier est moins avancé mais la ville de Saint-Malo souhaite anticiper une éventuelle demande similaire.

Dans ce cadre et en réponse au marché présenté par la ville de Saint-Malo, Air Breizh a réalisé une étude de l'état initial de la qualité de l'air avant aménagement pour les deux futures zones d'activités.

Le présent rapport détaille les résultats des deux campagnes de mesure, réalisées à différentes périodes de l'année :

- 1^{ère} campagne : du 22 mars au 18 avril 2024 ;
- 2^{nde} campagne : du 16 mai au 14 juin 2024

Les polluants à enjeux sanitaires ont été mesurés sur la zone d'étude, pour évaluer l'impact des activités sur la qualité de l'air des futurs quartiers résidentiels.

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 de la zone industrielle, conditions météorologiques, etc.) est évolutif.

II. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE :

Dans cette partie introductive, la ville de Saint-Malo et la zone d'étude sont présentées pour mettre en contexte l'étude.

II.1. La ville de Saint-Malo

Saint-Malo est une ville portuaire située en Bretagne, sur la côte nord-ouest de la France. Connue pour ses remparts historiques et son riche patrimoine maritime, elle est également un lieu touristique important, ce qui influence ses dynamiques urbaines et environnementales.

Saint-Malo bénéficie d'un climat océanique tempéré, caractérisé par des hivers doux et des étés frais, avec des précipitations régulières tout au long de l'année. La ville est exposée aux vents marins, qui peuvent jouer un rôle dans la dispersion des polluants atmosphériques.

L'économie locale repose principalement sur le tourisme, la pêche, et les activités portuaires. Le port de Saint-Malo, bien que moins industriel que d'autres grands ports, voit un trafic important de navires, notamment des ferries et des bateaux de croisière, contribuant aux émissions de polluants comme les oxydes d'azote (NOx) et les particules fines (PM).

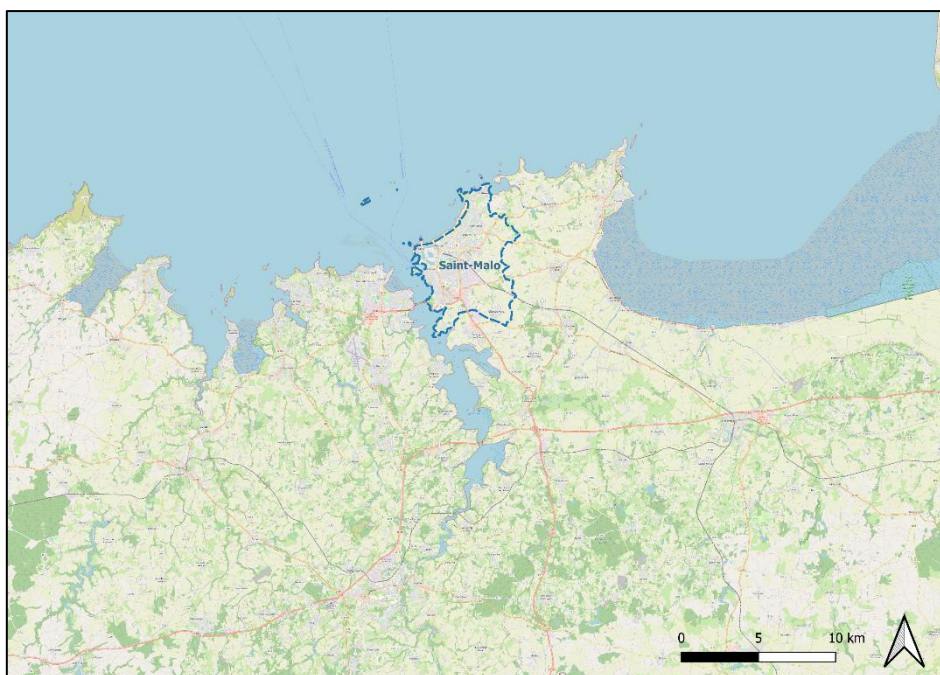


Figure 1 : Côte Bretagne Nord – Localisation de la ville de Saint-Malo [data.gouv.fr]

I12. Description des zones d'étude

Les deux ZAC objet de la présente étude sont les suivantes :

ZAC Général de Gaulle (ZAC CDG dans la suite du rapport) :



Figure 2 : ZAC du Général de Gaulle (CCTP Saint-Malo)

ZAC de la Houssaye :



Figure 3 : ZAC de la Houssaye (CCTP Saint-Malo)

III. MATERIEL ET METHODE

Cette partie est consacrée au descriptif des polluants étudiés, les techniques de mesure utilisées et la stratégie d'échantillonnage qui a été retenue en fonction des caractéristiques des deux zones d'étude.

III.1. Polluants susceptibles d'être retrouvés à Saint-Malo

Les émissions de la commune de Saint-Malo sont étudiées dans une première approche. D'après l'inventaire des émissions réalisé par Air Breizh (ISEA), la répartition des principaux polluants par secteur est la suivante pour la commune de Saint-Malo (source : année [2020 ISEA v5](#)) :

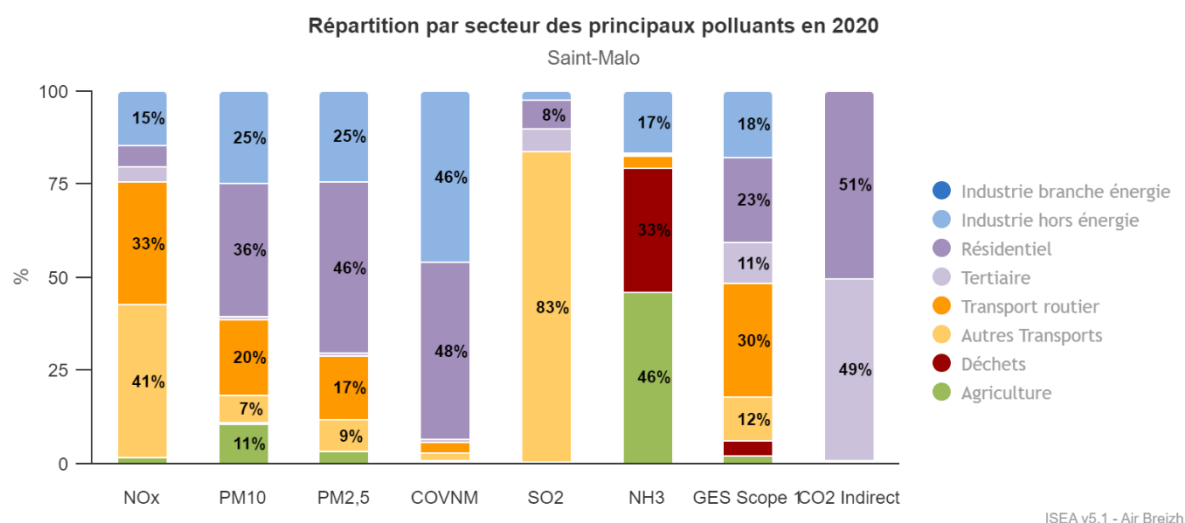


Figure 4 : Inventaire des émissions (Air Breizh, ISEA V5.1)

Sur ce graphique, la catégorie « autres transport » (en jaune) prend en compte les émissions liées au trafic maritime. On peut voir que le SO₂ est majoritairement émis par ce secteur (90%) ainsi qu'une partie des oxydes d'azote (NOx) et des particules (PM10 et PM2.5).

Le SO₂ n'est pas mesuré dans cette étude car les sites sont assez loin du port. D'après notre expérience sur de précédentes études, les concentrations en SO₂ sur la zone portuaire sont très faibles à Saint-Malo.

Les NOx sont largement émis par le transport routier (33 %), ce qui en fait un bon traceur de cette activité. Il est à noter que le trafic routier est l'une des principales sources de pollution de l'air ambiant dans les villes.

Les particules (PM) peuvent être issues de sources variées (anthropique et/ou biogénique). La composition des particules permet d'avoir des informations sur la source de celles-ci.

L'usine TIMAC Agro, spécialisée dans la fabrication d'engrais, dispose de deux usines à Saint-Malo dont l'une est implantée à proximité de la zone d'étude (ZAC CDG). Sur la Figure 4, les émissions d'ammoniac (NH₃) associées au secteur « industrie hors énergie » sont en partie liées à cette activité. Ainsi, l'ammoniac est susceptible d'être mesuré sur la zone d'étude.

Les polluants susceptibles d'être retrouvés sur les deux zones d'étude sont les suivants : les oxydes d'azote (NOx), les particules (PM10/PM2,5) et l'ammoniac (NH₃).

III1. Présentation des polluants étudiés

Le Tableau 1 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.

Tableau 1 : Présentation des polluants mesurés pendant les campagnes

Famille de polluant	Composés mesurés		Polluants réglementés	Effet sur la santé	Effet sur l'environnement
Oxydes d'azote	monoxyde d'azote (NO), dioxyde d'azote (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.
Particules	PM10 et PM2,5 (particules dont le diamètre aérodynamique est inférieures à 10 µm et 2,5 µm)	granulométrie optique	PM10 et PM2,5	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.	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.
		Caractérisation chimique : Carbone élémentaire (EC) Carbone organique (OC) Anions Cations	/		
Nitures d'hydrogène	Ammoniac (NH ₃)		/	L'ammoniac est un gaz incolore et odorant, très irritant pour le système respiratoire, la peau, et les yeux. Son contact direct peut provoquer des brûlures graves. A forte concentration, ce gaz peut entraîner des œdèmes pulmonaires. L'ammoniac est un gaz mortel à très forte dose.	L'ammoniac dans l'eau affecte la vie aquatique. Dans les eaux douces courantes, il provoque des lésions branchiales et une asphyxie chez les poissons. Dans les eaux stagnantes, surtout en été, il devient plus toxique en raison de l'augmentation du pH et peut favoriser l'eutrophisation. L'ammoniac est aussi un précurseur de particules secondaires.

III2. Technique de mesure

Le Tableau 2 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 2 : Techniques de mesure des polluants

Type de mesure	Technique de mesure	Polluants	Appareil de mesure	Temporalité	Emplacement		
					Rocabey (UF)	ZAC CDG	ZAC Houssaye
Actif	Prélèvement sur filtre : impaction des PM10 et analyses en laboratoire	EC	DA80	journalier	1	1	/
		OC					
		Anions					
		Cations					
	Mesure en continu : optique	PM10/PM2,5	FIDAS	Horaire	1	1	1
		NO ₂	AC32		1	1	1
		NH3	Picarro		/	1	1
Passif	Prélèvement par tube passif : diffusion passive	NO ₂	Tube NO ₂ Passam long terme	1 semaine	/	14	12

III3. 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) : ZAC de la Houssaye (au niveau de l'arrêt de bus Croix Désilles) ; ZAC Charles De Gaulle (sur un parking de la zone d'activité) et la station urbaine de fond Rocabey (intégrée au dispositif réglementaire)
- des points de mesures différées (mesures hebdomadaires) pour les polluants traceurs de certaines activités (telles que le transport) afin d'améliorer la couverture spatiale des mesures et faciliter ainsi la recherche sur la contribution des sources.

La Figure 5 présente le plan d'échantillonnage de la zone d'étude pour les deux campagnes de mesure.

Etude ZAC Houssaye / CDG : état initial de la qualité de l'air

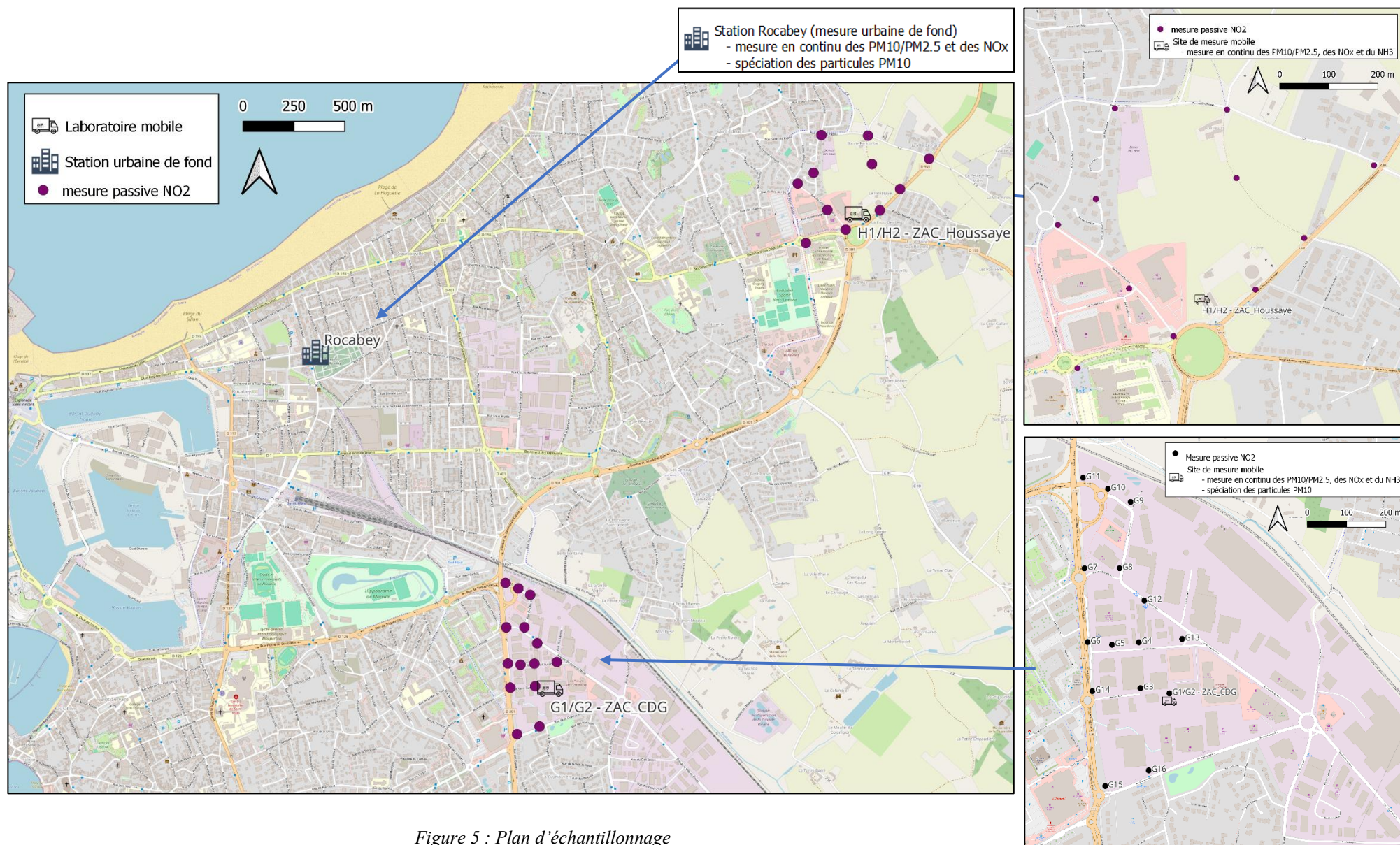


Figure 5 : Plan d'échantillonnage

III4. 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 (camion laboratoire ou station Rocabey) ont mesuré en continu les concentrations des particules (PM10 et PM2.5), en oxydes d'azotes (NO_x) et en ammoniac (NH₃) sur toute la durée des campagnes estivales et hivernales. Les dates de chacune de ces campagnes sont les suivantes :

- **Campagne hivernale : du 22/03/2024 au 18/04/2024**
- **Campagne estivale : du 16/05/2024 au 14/06/2024**

Les prélèvements passifs en NO₂ ont été réalisés par série d'une semaine lors des campagnes de mesure, soit 4 séries de prélèvements par campagne. Le Tableau 3 ci-dessous présente le détail des séries de prélèvement :

Tableau 3 : Dates des séries de prélèvement (mesure passive NO₂) lors des deux campagnes de mesure

	série	début	fin
Campagne hivernale	1	21/03/2024	28/03/2024
	2	28/03/2024	04/04/2024
	3	04/04/2024	11/04/2024
	4	11/04/2024	18/04/2024
Campagne estivale	1	16/05/2024	23/05/2024
	2	23/05/2024	30/05/2024
	3	30/05/2024	06/06/2024
	4	06/06/2024	14/06/2024

III5. Réglementation

Les valeurs de référence sont issues du code de l'environnement (article R221-1)¹ et des lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air (révisées en 2021)².

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.

Le 26 octobre 2022, la Commission européenne a proposé une révision de la directive sur la qualité de l'air ambiant³ pour fixer de nouvelles normes d'ici 2030, redéfinissant les seuils pour certains polluants (NO₂, PM10, PM2,5), présentés dans le Tableau 4 ci-après.

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

² Résumé d'orientation (OMS 2021) : Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air

³https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12677-Qualite-de-lair-revision-de-la-reglementation-de-lue_fr

Tableau 4 : Tableau de synthèse des valeurs guides et réglementaires des polluants étudiés.

Famille de polluant	Composés mesurés		Polluants réglementés	Valeurs limites			Proposition CE du 26/10/2023 à atteindre en 2030			Valeur guide de l'OMS (2021)	
				horaire	journalière	annuelle	horaire	journalière	annuelle	journalière	annuelle
Oxydes d'azote	NO, NO ₂		NO ₂	200 µg/m ³		40 µg/m ³	200 µg/m ³	50 µg/m ³	20 µg/m ³	25 µg/m ³	10 µg/m ³
Particules	P < à 2,5 µm de diamètre	Comptage	PM2,5			25 µg/m ³		25 µg/m ³	10 µg/m ³	15 µg/m ³	5 µg/m ³
	P < à 10 µm de diamètre		PM10		50 µg/m ³	40 µg/m ³		45 µg/m ³	20 µg/m ³	45 µg/m ³	15 µg/m ³
	P < à 10 µm de diamètre	Caractérisation chimique :	/								
		Carbone élémentaire (EC) Carbone organique (OC) Anions Cations									
Nitrides d'hydrogène	Ammoniac		/								
	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 18 jours par an										
	A ne pas dépasser plus d'1 heure par an										
	A ne pas dépasser plus de 35 jours par an										

Il est à noter que les valeurs limites mentionnées dans ce tableau sont issues de la réglementation (code de l'environnement⁴).

⁴ 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, le contexte industriel (ICPE et IREP) 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 Dinard (35 800).

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 6 et Figure 7 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 provenaient majoritairement du Sud/Sud-Ouest (220° - 170°) et, dans une moindre mesure, du Nord-Ouest (320°). On remarque beaucoup de vents forts (> 6 m/s) sur la période de mesure. Le profil de la rose des vents sur la période de campagne se rapproche des normales du mois de mars pour les vents majoritaires. Cependant, les vents provenant du Nord/Nord-Est ne sont pas représentés durant cette campagne hivernale alors qu'ils sont très fréquents dans les conditions normales à cette période.

Pendant la campagne estivale, les vents provenaient majoritairement du Nord/Nord-Ouest (300° - 20°) et du Sud-Ouest (225°). Le profil de la rose des vents sur la période de campagne se rapproche des conditions normales du mois de mai.

Etude ZAC Houssaye / CDG : état initial de la qualité de l'air

Sur la ZAC CDG, les appareils de mesure sont exposés aux activités de la TIMAC et de la laiterie de Saint-Malo lorsque les vents proviennent respectivement du Nord (20°) et d'Est (95°). Seuls les vents de Nord étaient présents lors de la campagne estivale (pas de vents de Nord pendant la campagne hivernale). Les vents provenant de l'Est ont été absents sur les deux périodes de mesure.

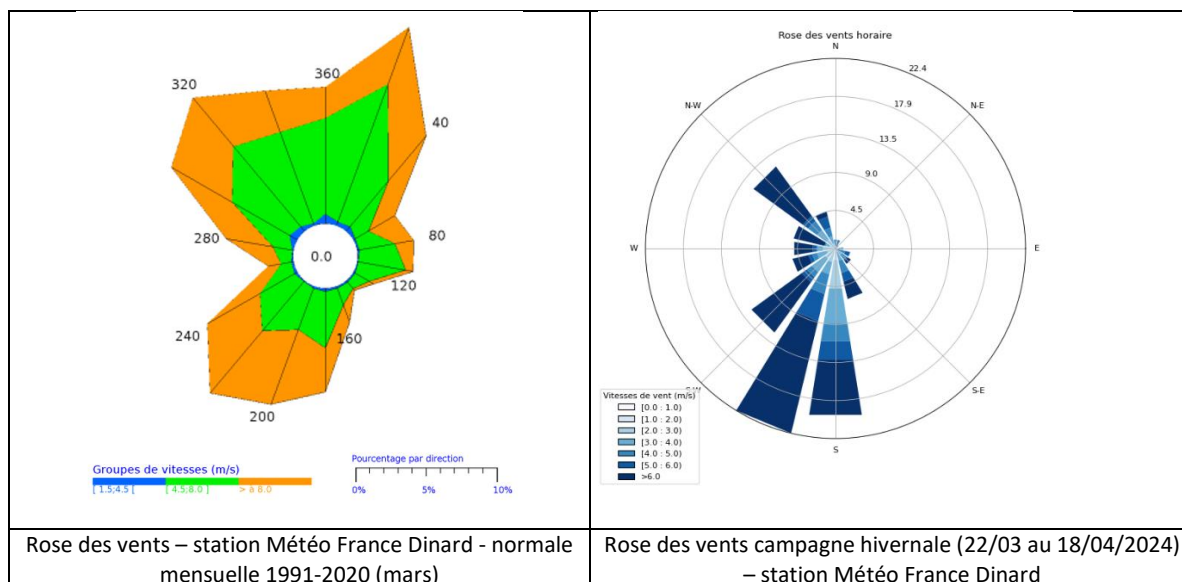


Figure 6 : Comparaison des conditions de vents pendant la campagne hivernale aux normales mensuelles (avril)

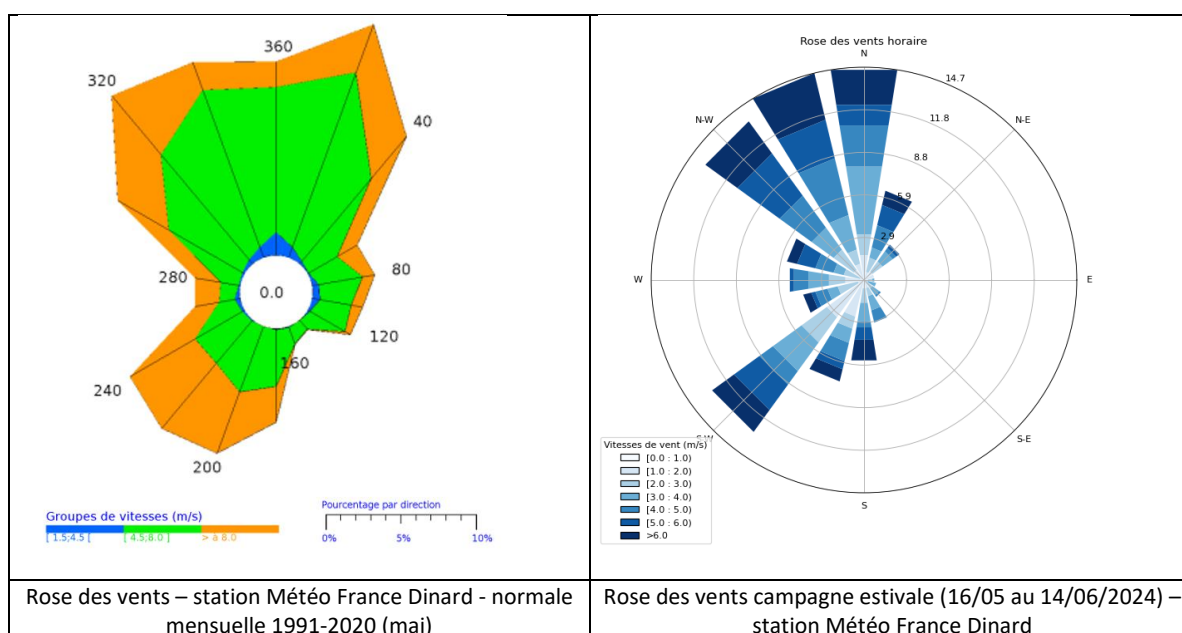


Figure 7 : Comparaison des conditions de vents pendant la campagne estivale aux normales mensuelles (mai)

Les conditions rencontrées pendant cette campagne sont assez proches des normales saisonnières excepté une absence de vents de Nord pendant la période hivernale retenue.

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 5 et Tableau 6 ci-dessous permettent de comparer les conditions de température et de précipitations rencontrées pendant les deux campagnes de mesure aux normales météorologiques (station Dinard, entre 1991 et 2020).

La Figure 8 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 8 ci-après, on peut voir que les températures journalières présentent des variations pendant la période hivernale et sont stables pendant la période estivale. Ces différences pourraient induire plus de variation entre les séries de mesures passive du NO₂ (séries de mesures hebdomadaires).

Les niveaux de précipitations enregistrés lors de la campagne hivernale sont proches des normales météo (écart faible : - 7%). Cependant, les niveaux de précipitations de la campagne estivale ont été plus faibles par rapport aux normales (-37 %).

Tableau 5 : Synthèse météorologique (campagne hivernale) et comparaison aux normales (mois de mars/avril).

	Normales du mois de <u>mars</u> (1991-2020)	Normales du mois d' <u>avril</u> (1991-2020)	Moyenne des normales (mars et avril)	Campagne (du 22/03 au 18/04/2024)	Ecart relatif
Température moyenne (°C)	8,5	10,3	9,4	10,7	14 %
Cumul des précipitations (mm)	47,6	53,9	50,8	47	-7 %

Tableau 6 : Synthèse météorologique (campagne estivale) et comparaison aux normales (mois de mai/juin).

	Normales du mois de <u>mai</u> (1991-2020)	Normales du mois de <u>juin</u> (1991-2020)	Moyenne des normales (mai et juin)	Campagne (du 16/05 au 14/06/2024)	Ecart relatif
Température moyenne (°C)	13,2	16,0	14,6	13,8	-5 %
Cumul des précipitations (mm)	56	54,1	55,1	34,9	-37%

Les conditions de température sont cohérentes avec les normales météorologiques pour les deux campagnes de mesure, la campagne hivernale présente quelques variations par rapport à la campagne estivale qui est plus stable. Les précipitations ont été plus faibles pendant la campagne estivale par rapport aux normales. Les précipitations contribuent à la diminution des concentrations en polluants, celles-ci pourraient donc être surestimées par rapport à des conditions normales.

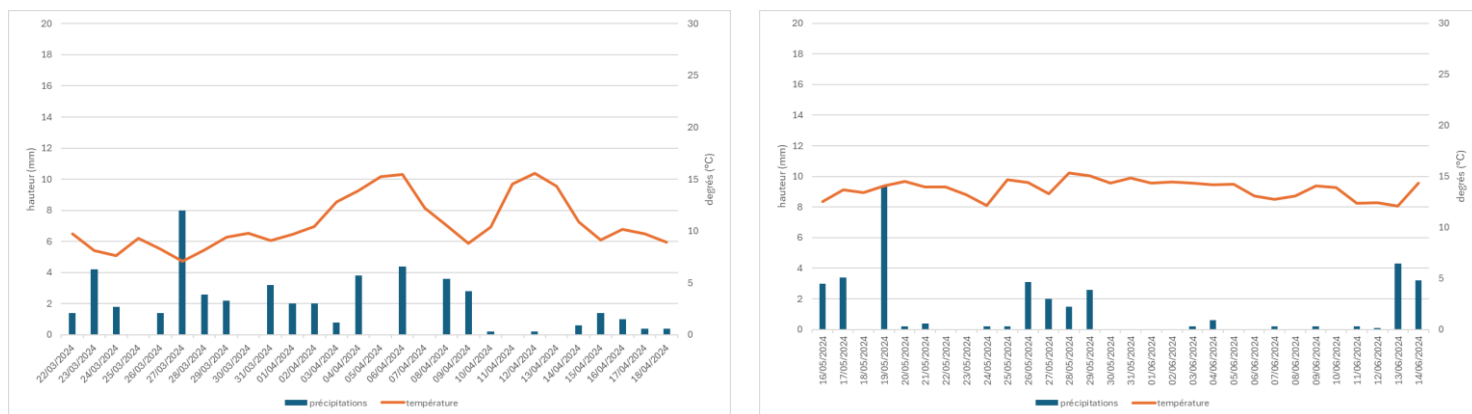


Figure 8 : Evolution des températures et des cumuls de précipitations (moyenne journalière), campagne hiver (gauche) et été (droite).

c) Synthèse

Les conditions de vents rencontrées pendant cette campagne sont assez proches des normales saisonnières excepté une absence de vents de Nord pendant la période hivernale retenue. Pendant cette campagne hivernale, le site de mesure n'a pas été sous l'influence des émissions de la partie Nord de la ZAC, notamment les installations industrielles de l'usine TIMAC.

Les conditions de température sont cohérentes avec les normales météorologiques pour les deux campagnes de mesure, la campagne hivernale présente quelques variations par rapport à la campagne estivale où les températures sont plus stables.

Les précipitations ont été plus faibles pendant la campagne estivale par rapport aux normales. Les précipitations contribuent à la diminution des concentrations en polluants, celles-ci pourraient donc être surestimées par rapport à des conditions normales.

IV2. Choix des périodes de mesure

Selon les Directives Européennes 2008/50/CE et 2004/107/CE, deux campagnes de mesure de 4 semaines doivent être effectuées, à des saisons différentes, pour estimer une moyenne annuelle.

Les mesures sont réalisées à des saisons différentes en raison de la différence des niveaux en polluants en fonction des conditions météorologiques saisonnières.

Pour rappel, les périodes de campagne sont les suivantes :

- **Campagne hivernale : du 22/03/2024 au 18/04/2024**
- **Campagne estivale : du 16/05/2024 au 14/06/2024**

Pour évaluer la différence de saisonnalité (été/hiver) sur les périodes de campagne choisies, il est intéressant d'observer l'évolution des concentrations moyennes mensuelles à la station Rocabey (sur une année glissante). Généralement, les niveaux en particules (PM10/PM2,5) et en NO₂ sont plus importants pendant la période hivernale en raison des conditions météorologiques.

Les niveaux mensuels en particules et en NO₂ mesurés à la station Rocabey sont présentés sur La Figure 9 ci-dessous.

On remarque que les niveaux en particules sont plus importants pendant les mois de décembre et de janvier. Concernant le NO₂, il y a peu d'évolution des niveaux pendant l'année, excepté pour le mois de janvier qui est légèrement plus important (ce qui s'explique par un hiver 2023/2024 relativement doux).

Les niveaux en particules et en NO₂ rencontrés aux mois de mars et d'avril (période retenue pour la campagne hivernale) à la station Rocabey semblent plus proches des niveaux rencontrés pendant la saison estivale. Il est possible que les niveaux annuels estimés à partir des deux campagnes soient sous-estimés.

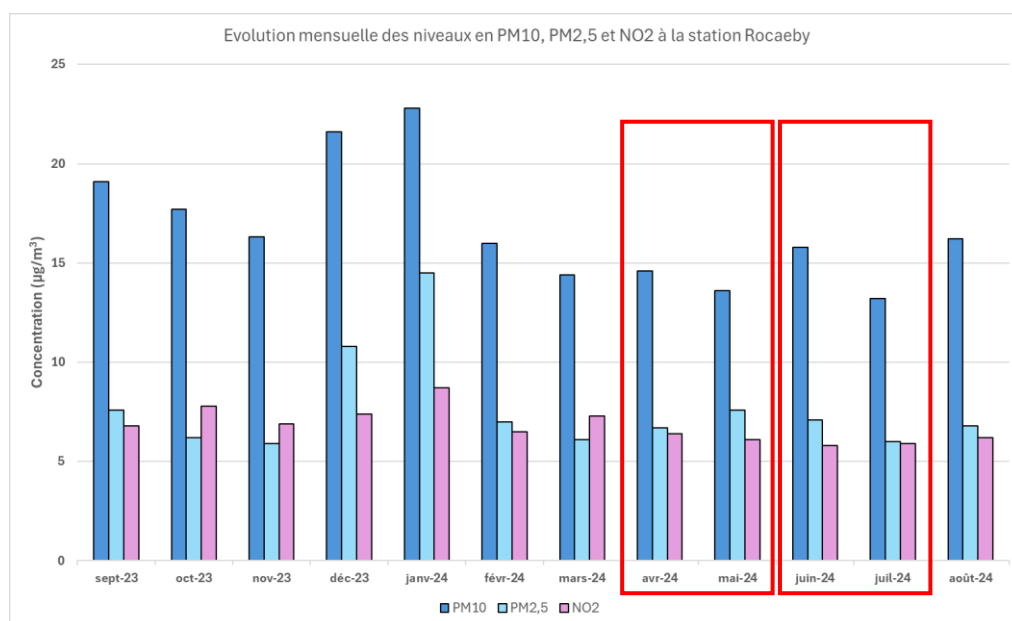


Figure 9 : Evolution mensuelle des niveaux en PM10, en PM2,5 et en NO2 à la station Rocabey

IV3. Influence de l'activité de la zone d'étude 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).

d) ICPE et IREP sur la zone d'étude

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 7 ci-dessous et la Figure 10 ci-après présentent les principales installations classées ICPE et déclarants des rejets et des transferts de polluants sur la zone d'étude. A noter que la ZAC de la Houssaye ne compte pas d'ICPE ou d'IREP à proximité.

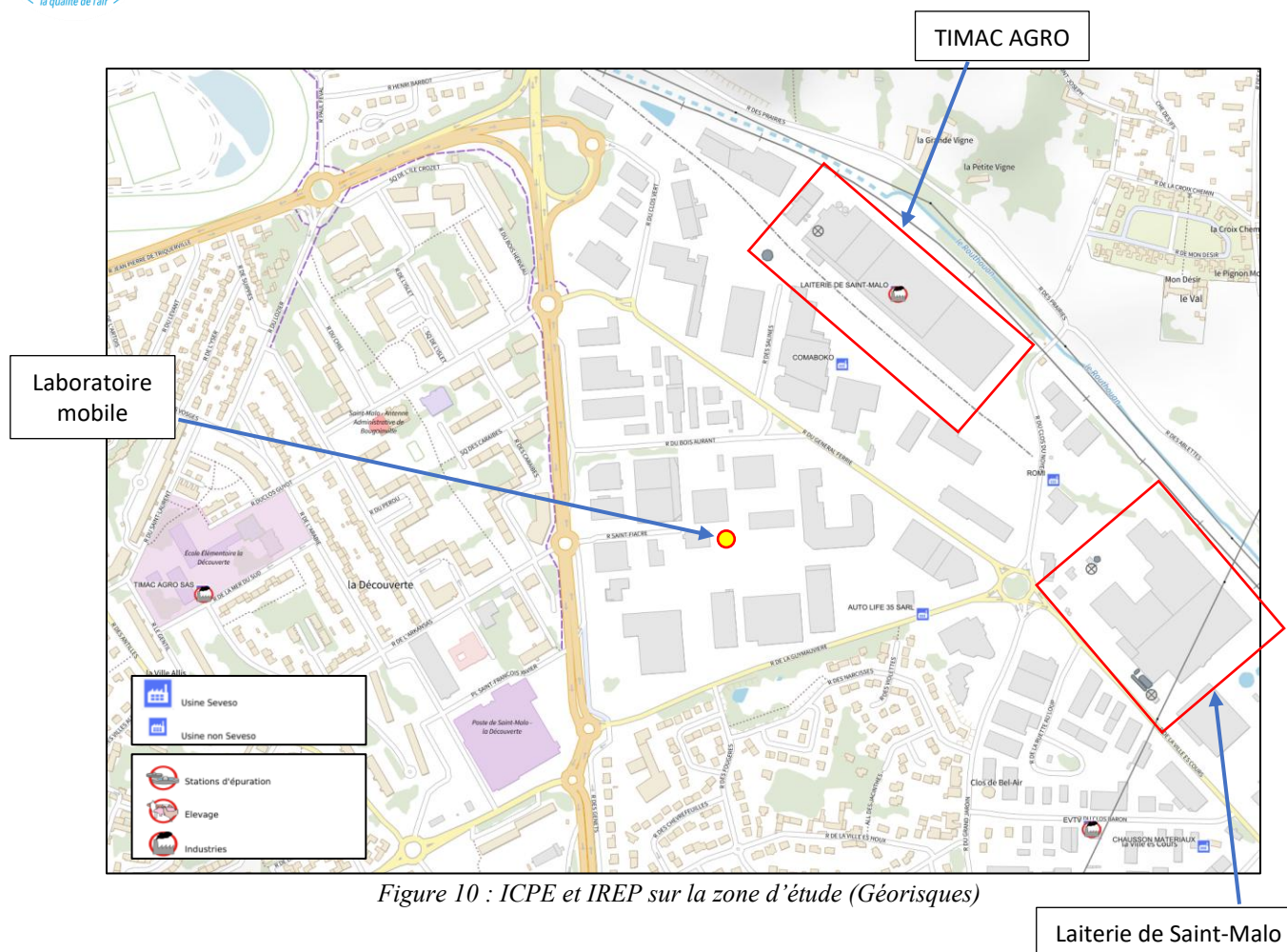
Trois installations industrielles situées sur la ZAC De Gaulle appartiennent au régime d'autorisation environnementale et sont classées IREP : la laiterie de Saint-Malo, EVT et TIMAC AGRO SAS.

Le positionnement des entreprises « Laiterie de Saint-Malo » et « TIMAC agro » est erroné dans Géorisques, la situation de celles-ci est indiquée sur la Figure 10 (encadré rouge). Ces deux entreprises sont référencées dans Géorisques pour leurs émissions dans l'air ambiant, leurs activités sont donc susceptibles d'avoir un impact sur la qualité de l'air à proximité.

Le laboratoire mobile est exposé aux rejets de la TIMAC lorsque les vents proviennent du Nord (20°) et à la laiterie de Saint-Malo lorsque les vents proviennent de l'Est (95°).

Tableau 7 : ICPE et IREP présent sur la zone d'étude (Géorisques).

Nom	Activité principale	Régime en vigueur	IREP	Site de mesure à proximité
LAITERIE DE SAINT-MALO	10 - Industries alimentaires	Autorisation	OUI	/
COMABAKO	Transformation et conservation de poisson, de crustacés et de mollusques (1020Z)	Enregistrement		G13
AUTO LIFE 35 SARL	45 - Commerce et réparation d'automobiles et de motocycles	Enregistrement		/
EVT	37 - Collecte et traitement des eaux usées	Autorisation	OUI	/
CHAUSSEON MATERIAUX	46 - Commerce de gros, à l'exception des automobiles et des motocycles	Enregistrement		/
TIMAC AGRO SAS	Fabrication de produits azotés et d'engrais	Autorisation	OUI	G9, G8, G12, G13



e) Travaux à proximité de la zone d'étude

Lors de la première campagne de mesure, des travaux de la Régie Malouine de l'eau (RME) ont eu lieu à proximité du laboratoire mobile (travaux sur les canalisations). Le détail des opérations (types et durées) n'est pas connu mais il est possible que cette activité ait influencé ponctuellement les mesures de l'analyseur.



Figure 11 : travaux à proximité du laboratoire mobile, ZAC de la Houssaye.

f) Trafic routier sur la zone d'étude

Le trafic moyen journalier annuel (TMJA – année 2018) sur les 2 zones d'étude est présenté sur la Figure 12.

On peut voir que certains points sont proches d'axes routiers très fréquentés. Sur la ZAC CDG, Les points G11, G10, G7, G6, G14 et G15 sont les points les plus proches des axes avec des TMJA importants (10 000 à 15 000 passages par jour en moyenne). 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). Sur ces points, des prélèvements passifs ont été effectués (NOx). Sur la ZAC de la Houssaye, les points H14, H4, H5, H9 et H10 sont les plus exposés au trafic routier.

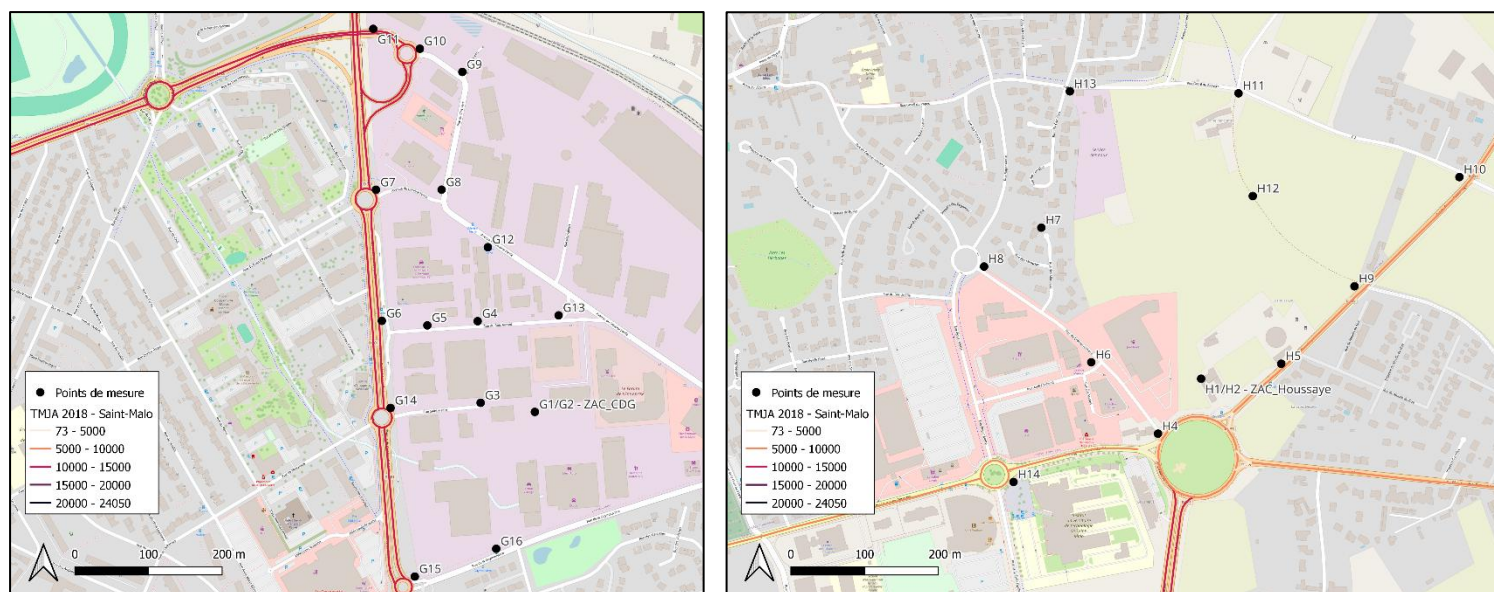


Figure 12 : Carte du TMJA (2018) sur les 2 zones d'étude (gauche : ZAC CDG ; droite : ZAC de la Houssaye)

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

Une station de mesure fixe est présente à Saint-Malo (cf. Annexe 1) :

- Station Rocabey (typologie urbaine de fond) : mesure en continu des oxydes d'azotes et des particules (PM10/PM2,5). Cette station est positionnée dans l'enceinte du cimetière de Rocabey.

Les données de mesure en dioxyde d'azote (NO₂) et en particules (PM10/PM2.5) sont comparées à cette station.

Les mesure en ammoniac sont comparées à la station « Kergoff », de typologie rurale de fond, située à Merléac (centre Bretagne).

b) Seuils réglementaires et valeurs guides de l'OMS

Les valeurs limites réglementaires, les valeurs guides de l'OMS et les niveaux à atteindre en 2030 (CE du 26/10/2022) sont utilisés comme référence pour cette étude (cf. Tableau 4).

V2. Contrôle qualité des résultats

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

Dans le cadre de la surveillance réglementaire, le taux de couverture des analyseurs sur une période donnée doit être supérieur à 90% pour permettre l'exploitation des données (Arrêté du 16 avril 2021⁵ relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant).

Le taux de couverture est calculé comme suit :

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

Les taux de couverture des appareils de mesure en continu (présent sur à la station de mesure fixe et dans les deux laboratoire mobile) sont présentés dans le Tableau 8 ci-dessous.

⁵ Arrêté du 16 avril 2021 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant

Tableau 8 : Taux de couverture (Tc) des appareils (données horaires), pour les deux campagnes de mesure

	Rocabey (UF*)			ZAC Houssaye				ZAC CDG			
	NO ₂	PM10	PM2.5	NO ₂	PM10	PM2.5	NH ₃	NO ₂	PM10	PM2.5	NH ₃
Tc % (campagne hivernale)	99%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Tc % (campagne estivale)	99%	86%	94%	98%	98%	98%	98%	94%	94%	94%	94%

*UF : station Urbaine de Fond

La mesure en continu des PM10 à la station « Rocabey » présente un taux de couverture de 86% sur la campagne estivale en raison d'une panne de l'appareil de mesure (du 23/05 à 9 :15 au 24/05 à 11 :15 et du 10/06 à 22 :00 au 13/06 à 9 :15 TU). Les résultats des mesures en PM10 seront traités dans la suite du rapport en prenant compte des périodes non couvertes.

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 PM. Afin de s'assurer que les résultats des mesures par tube passif (NO₂) sont fiables dans les conditions de l'étude, deux méthodes ont été utilisées :

- intercomparaison des tubes : prélèvement en doublon pour chaque série de prélèvement;
- comparaison des tubes à la mesure de référence : prélèvement proche d'un analyseur de référence.

Sur chaque site de mesure, deux tubes ont été placés sur les cannes de prélèvement d'air des laboratoire mobiles. Les tubes passifs sont donc comparés entre eux et à la mesure de référence. Emplacement des tubes en doublon :

- point G1/G2 (site ZAC CDG – parking du pôle technique) ;
- point H1/H2 (site ZAC Houssaye – arrêt de bus croix Desilles).

Intercomparaison des tubes passifs

Le Tableau 9 ci-dessous présente les résultats d'intercomparaison pour les mesures passives (NO₂) aux points G1/G2 et H1/H2. On peut voir que pour chaque série de prélèvement des deux campagnes de mesure, les niveaux des doublons sont proches (≤ 10 %). Sur le site de la Houssaye, un écart légèrement plus important est présent lors de la série 2 de la campagne hivernale (3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Au vu des concentrations très faibles mesurées sur cette campagne (incertitudes de mesure plus importantes), et du faible impact sur la moyenne mensuelle, cet écart est considéré faible.

L'écart moyen sur la période de la campagne des deux sites ne dépasse pas 11 %, ce qui est satisfaisant.

Tableau 9 : Intercomparaison des tubes passif (NO₂)

intercomparaison		Série 1	Série 2	Série 3	Série 4	Moyenne mensuelle
Campagne hivernale						
ZAC Houssaye	Doublon 1 (H.1)	6	6	6	4	6
	Doublon 2 (H.2)	6	9	6	5	6
	Écart relatif	-2%	-32%	6%	-7%	-11%
ZAC CDG	Doublon 1 (G.1)	7	6	6	6	6
	Doublon 2 (G.2)	7	5	6	6	6
	Écart relatif	6%	9%	10%	-3%	5%
Campagne estivale						
ZAC Houssaye	Doublon 1 (H.1)	5	4	4	< LQ	4
	Doublon 2 (H.2)	5	4	< LQ	< LQ	5
	Écart relatif	7%	0%	/	/	/
ZAC CDG	Doublon 1 (G.1)	6	6	5	5	6
	Doublon 2 (G.2)	6	6	6	5	6
	Écart relatif	6%	6%	-6%	-8%	0%

Comparaison à la référence

Le Tableau 10 ci-dessous présente les résultats des mesures passives (NO₂) comparés aux mesures de référence (analyseur).

On peut voir un léger écart de concentration lors de la campagne estivale sur le site CDG (3 µg/m³). Au vu des concentrations très faibles (incertitudes de mesure plus élevées) et du faible impact sur la moyenne annuelle estimée (différence de 2 µg/m³), cet écart est considéré faible.

Pour les autres comparaisons mesures passives / analyseur, les écarts de concentration ne dépassent pas 1 µg/m³, ce qui est satisfaisant.

Les niveaux mesurés sont très proches des limites de quantification (environ 3,5 µg/m³) 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 faibles.

Tableau 10 : Comparaison de la mesure passive avec la mesure en continu (analyseur de référence)

Comparaison à la référence		Mesures passives	Analyseur	Ecart relatif
Campagne hivernale				
ZAC Houssaye	Site H.1 + 2	6	5	29%
ZAC CDG	Site G.1 + 2	6	7	-12%
Campagne estivale				
ZAC Houssaye	Site H.1 + 2	5	5	-6%
ZAC CDG	Site G.1 + 2	6	9	-36%
Moyenne annuelle estimée				
ZAC Houssaye	Site H.1 + 2	5	5	11%
ZAC CDG	Site G.1 + 2	6	8	-26%

V3. Résultats des mesures en dioxyde 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 11). La moyenne des deux campagnes de mesure permet de calculer une **moyenne annuelle estimée**. La valeur obtenue peut ainsi être comparée aux valeurs de référence en moyenne annuelle : valeur limite réglementaire pour la protection de la santé humaine (40 µg/m³), valeur guide de l'OMS (10 µg/m³) et seuil de la CE à atteindre en 2030 (20 µg/m³).

Les résultats par campagne et par série de mesure sont présentés en ANNEXE 3.

Tableau 11 : Résultats des mesures en NO₂ sur les deux campagnes.

[NO ₂] (µg/m ³)	Campagne hiver	Campagne été	Moyenne annuelle estimée
G.7	24	27	25
G.14	24	26	25
G.11	22	27	25
G.6	21	22	21
G.15	17	21	19
G.10	12	14	13
G.12	12	11	12
G.8	11	13	12
H.4	11	12	11
H.5	11	10	11
H.14	12	9	10
G.16	9	12	10
G.9	9	11	10
G.5	8	9	9
* G.1 - ZAC CDG	9	7	8
G.13	8	8	8
H.6	7	8	7
G.4	6	8	7
G.3	7	7	7
H.8	6	8	7
H.9	5	7	6
G.1 (d)	6	6	6
* Rocabey - UF	6	6	6
H.10	5	6	6
H.1 (d)	5	6	5
H.12	7	4	5
H.13	5	5	5
* H.1 - ZAC Houssaye	5	5	5
H.11	4	5	4
H.7	4	5	4

* Analyseur de mesure fixe

On remarque que les sites de la ZAC CDG présentent les niveaux les plus élevés notamment les points G.7 ; G.14 et G.11 qui se démarquent par rapport aux autres. Cette différence s'explique par une influence plus importante du trafic routier sur la zone d'étude ZAC CDG.

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 12 ci-dessous présente une synthèse statistique des séries de mesure pour les deux zones d'étude. On remarque que les concentrations moyennes et maximales mesurées sur les deux campagnes sont assez proches pour les deux sites. En règle générale, les concentrations en NO_2 sont plus élevées en période hivernale en raison des températures plus basses et des conditions météorologiques moins dispersives. Cet écart n'est pas très marqué ici, en raison des périodes de campagne très rapprochées.

Tableau 12 : Statistiques des séries de mesure passive (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
ZAC CDG					
Campagne estivale	Moyenne	14	14	12	12
	Max	25	27	23	24
Campagne hivernale	Moyenne	16	14	15	14
	Max	29	28	28	24
ZAC de la Houssaye					
Campagne estivale	Moyenne	8	7	6	6
	Max	16	12	10	12
Campagne hivernale	Moyenne	8	7	7	6
	Max	13	12	12	11

La Figure 13 et la Figure 14 ci-après permet de visualiser les différences de niveau entre les points de mesure sur les deux zones d'étude.

Les sites G.7 ; G.14 ; G.11 et G.6 présentent les niveaux les plus forts, dépassant la valeur seuil proposée par la commission européenne (objectif 2030), probablement en raison de leur positionnement à proximité de voies de circulation très fréquentées (cf. Figure 12). Les niveaux rencontrés sur ces sites sont supérieurs à ceux de la station Rocabey (typologie urbaine de fond).

Les sites de la ZAC de la Houssaye les plus exposés au trafic routier (H.4, H.5, H.14) dépassent la valeur guide de l'OMS ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Pour la ZAC CDG, cette valeur guide est dépassée pour 8 sites de mesure, principalement situés sur des rond-point ou des axes routiers très passants.

Il est à noter que les valeurs de référence issue 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.

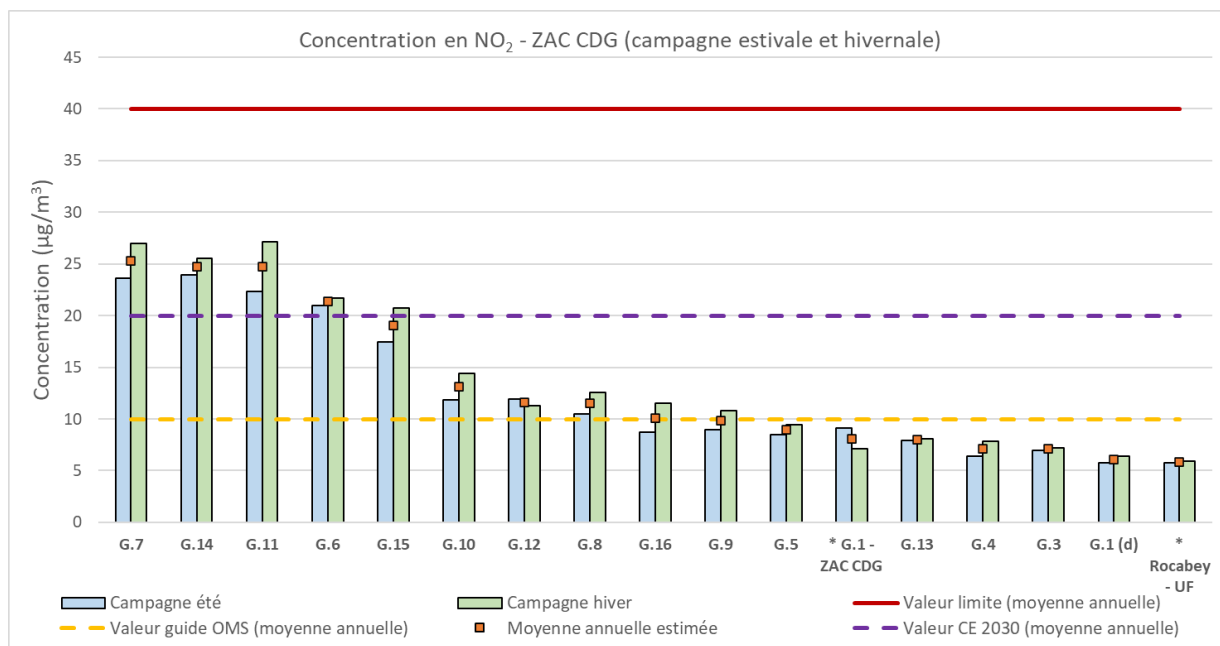


Figure 13 : Histogramme des moyennes annuelles estimées en NO_2 – ZAC CDG ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

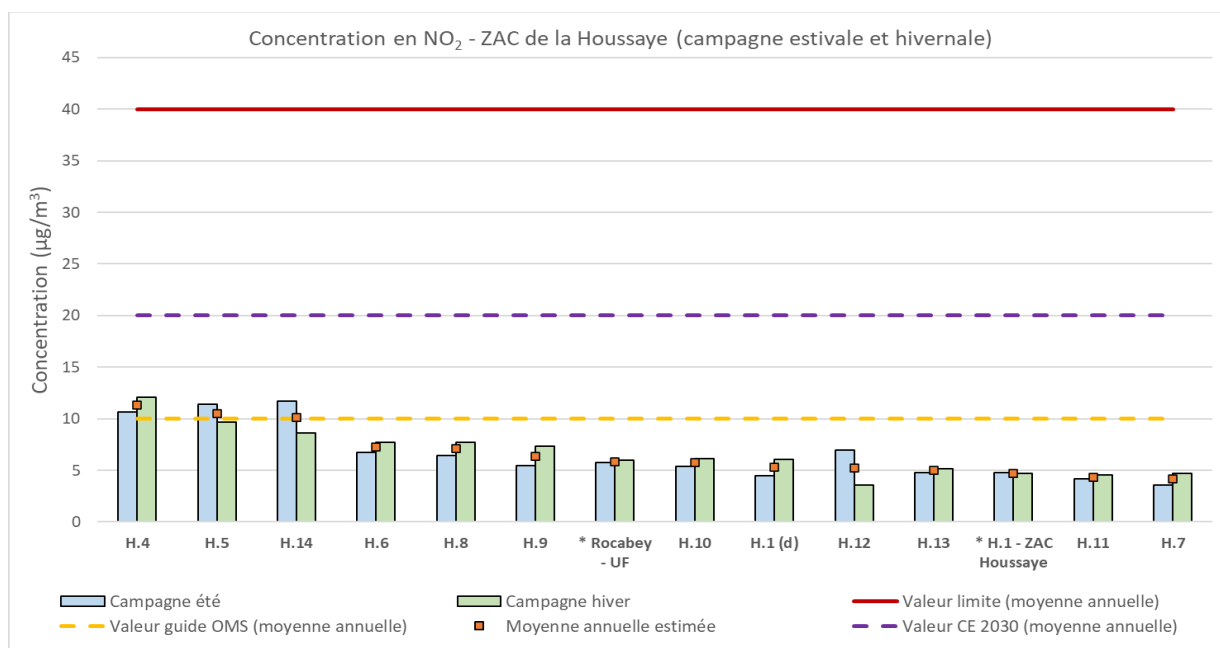


Figure 14 : Histogramme des moyennes annuelles estimées en NO_2 – ZAC de la Houssaye ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

La Figure 15 et la Figure 16 présentent les points de mesure passif (NO_2) sur les deux zones d'étude avec un code couleur en fonction du respect de la valeur seuil sanitaire ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle). Ces cartes intègrent le TMJA pour pouvoir comparer les niveaux de concentration en NO_2 avec les données de trafic routier.

La valeur seuil sanitaire (réglementaire) est respectée pour chaque point de mesure, sur les deux zones d'étude. Pour la ZAC CDG, les niveaux les plus élevés sont situés à proximité de l'avenue du Général De Gaulle.

La spatialisation des niveaux en NO_2 selon l'échelle CE objectif 2030 (CE 26/10/2022) est présentée en ANNEXE 4 (Figure 29 et Figure 30). Les 4 points de mesure qui dépassent le seuil CE 2030 sont situés à proximité de l'avenue du Général De Gaulle. Le point G15, proche de l'Intermarché, est à la limite de dépasser le seuil CE ($19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle estimée). On remarque une décroissance des niveaux en NO_2 assez rapide en fonction de l'éloignement à cette avenue. En effet, la moyenne annuelle estimée au point de mesure G.5 ($9 \mu\text{g}/\text{m}^3$), situé à 60m de l'avenue, est inférieure à la valeur guide de l'OMS ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Une étude spécifique de la décroissance des niveaux en NO_2 en fonction de l'éloignement à la rocade est réalisée en ANNEXE 5

Pour la ZAC de la Houssaye, on peut voir que les niveaux sont légèrement plus importants à proximité du rond-point des Français Libres et de la D355 (La Croix Désilles) mais restent en dessous des valeurs seuils réglementaire et de la commission Européenne.

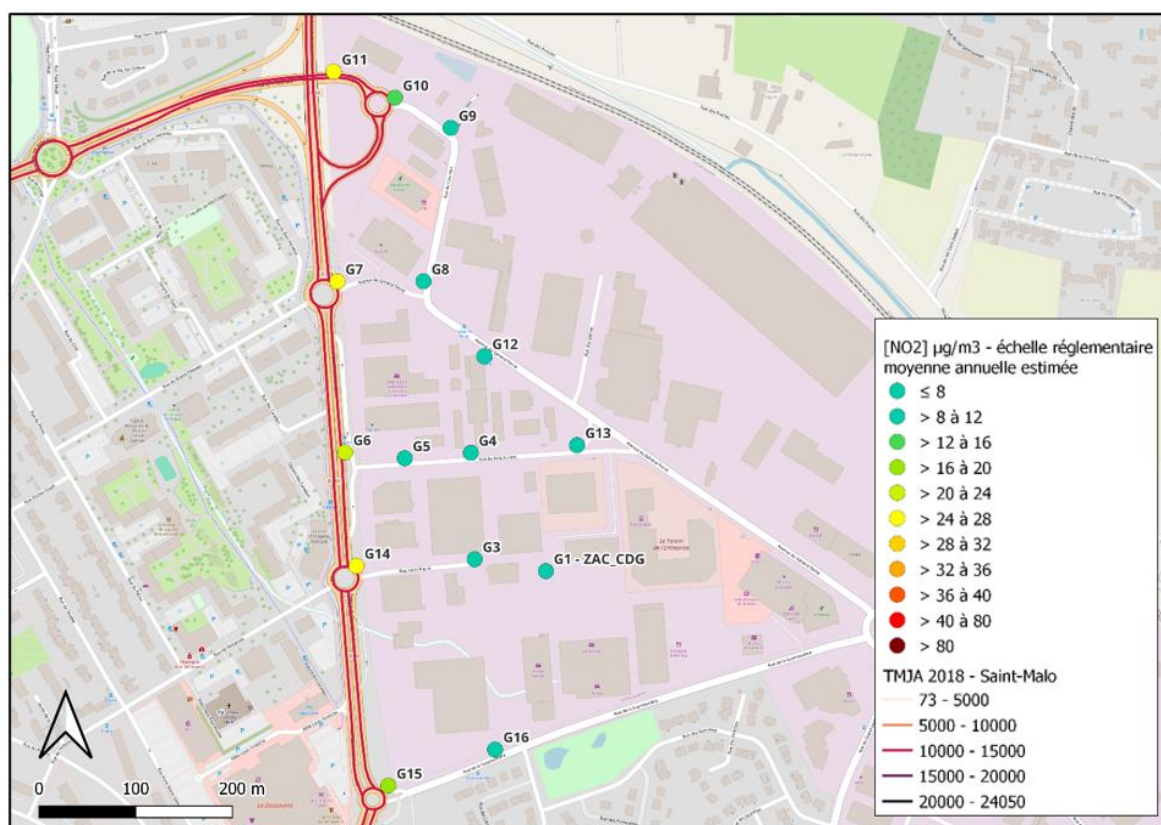


Figure 15 : Carte des concentrations moyennes annuelles en NO_2 estimées sur la zone d'étude (moyenne des deux campagnes en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, échelle réglementaire)

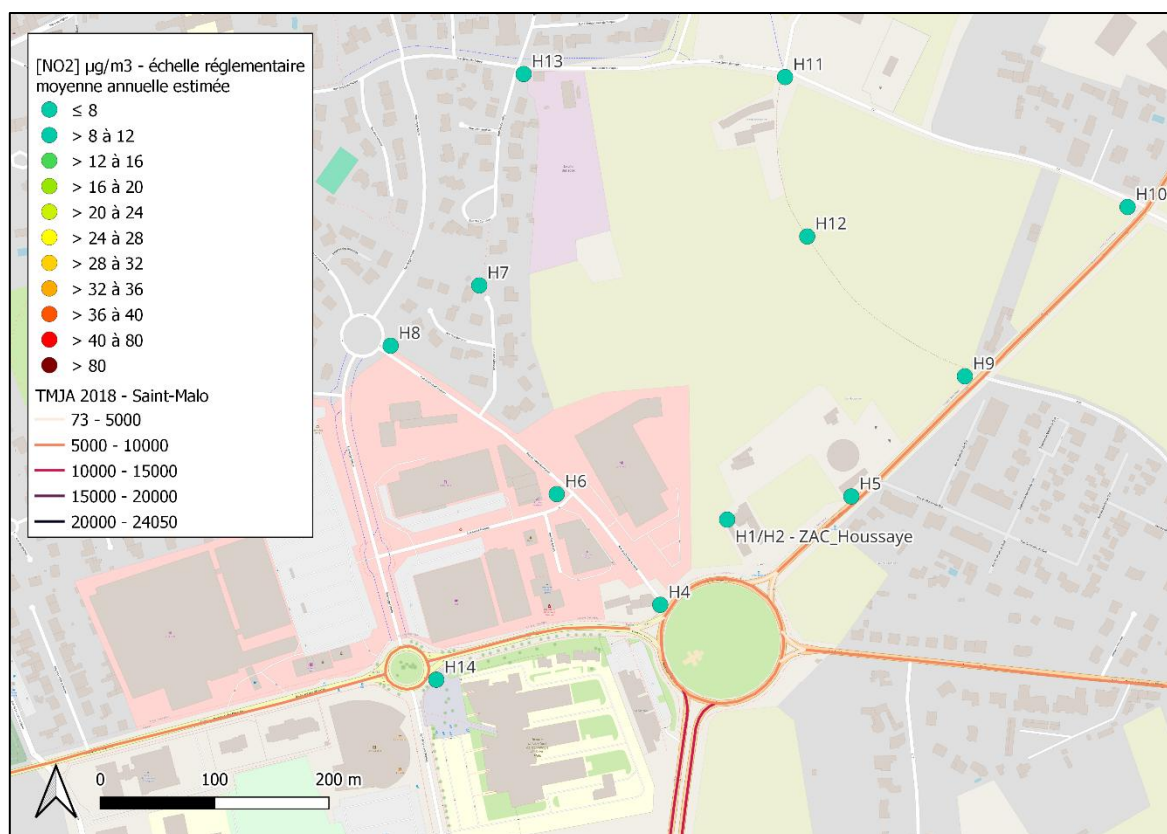


Figure 16 : Carte des concentrations moyennes annuelles en NO₂ estimées sur la zone d'étude (moyenne des deux campagnes en µg/m³, échelle réglementaire)

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, valeur guide de l'OMS et seuil de la CE à atteindre en 2030). Les résultats des deux campagnes de mesure sont présentés dans cette partie.

Le Tableau 13 ci-dessous présente une synthèse statistique des mesures en NO₂ réalisées aux 2 sites de mesure fixe et à la station de référence Rocabey (mesure urbaine de fond). 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 13 : Synthèse statistique des mesures en NO₂ (µg/m³).

NO ₂	Rocabey – UF*		ZAC CDG (G1)		ZAC de la Houssaye (H1)	
	hivernale	estivale	hivernale	estivale	hivernale	estivale
Données horaires						
Valeur limite (FR)	200 µg/m ³ en moyenne horaire					
1 ^{er} quartile	3,0	3,7	4,4	5,1	1,7	3,0
Médiane	4,5	5,1	6,2	8,2	3,6	4,6
Moyenne	5,7	5,8	7,0	9,3	4,7	5,0
3 ^{ème} quartile	7,5	6,9	8,5	12,4	6,1	6,3
Maximum horaire	39,1	41,8	43,1	27,4	31,6	18,3
Données journalières						
Valeur guide OMS	25 µg/m ³ en moyenne journalière					
CE 2030	50 µg/m ³ en moyenne journalière					
Maximum journalier	11,9	11,5	14,3	16,4	9,9	8,9

* 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 3 sites de mesure (max horaire : 43,1 µg/m³ – ZAC CDG). En moyenne journalière, la valeur guide de l'OMS et le seuil CE à atteindre en 2030 sont également respectés (max journalier : 16,4 µg/m³ – ZAC CDG).

La Figure 17 ci-après présente les box plot des mesures en NO₂ (données horaires) pour les deux campagnes. Le dioxyde d'azote étant un polluant saisonnier, les concentrations rencontrées sont généralement plus importantes en hiver (températures plus basses, augmentation du trafic routier). De ce fait, les points dit « outliers », en dehors de l'intervalle min-max du box plot, sont particulièrement nombreux lors de la campagne hivernale.

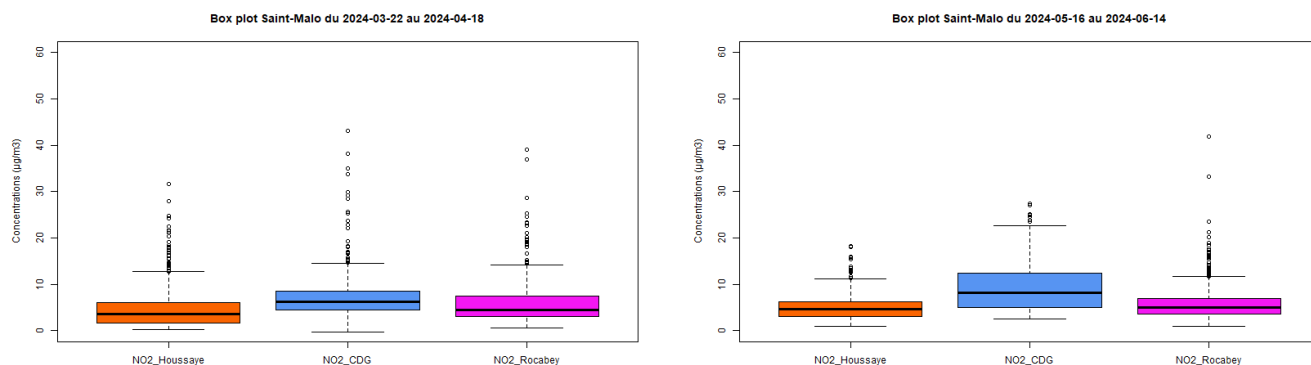


Figure 17 : Box plot des concentrations en NO_2 mesurées sur les deux campagnes (données horaires)

Les Figure 18 et Figure 19 présentent les évolutions journalières du NO_2 sur les 3 sites de mesure pour les deux campagnes. Les mesures de la campagne hivernale montrent des profils assez proches entre les 3 sites. En revanche, les niveaux mesurés sur le site ZAC CDG lors de la campagne estivale se détachent du profil des deux autres sites le 28-29/05 et sur le reste de la campagne. A noter une période de coupure entre le 4 et le 7 juin en raison d'un problème technique lié à l'appareil de mesure. Lors de cette période, la zone d'étude était probablement positionnée sous l'influence du trafic routier sur l'avenue du Général De Gaulle.

Le trafic routier à proximité de la ZAC CDG (Avenue du Général de Gaulle) permet d'expliquer les concentrations plus élevées en NO_2 par rapport aux autres sites de mesure.

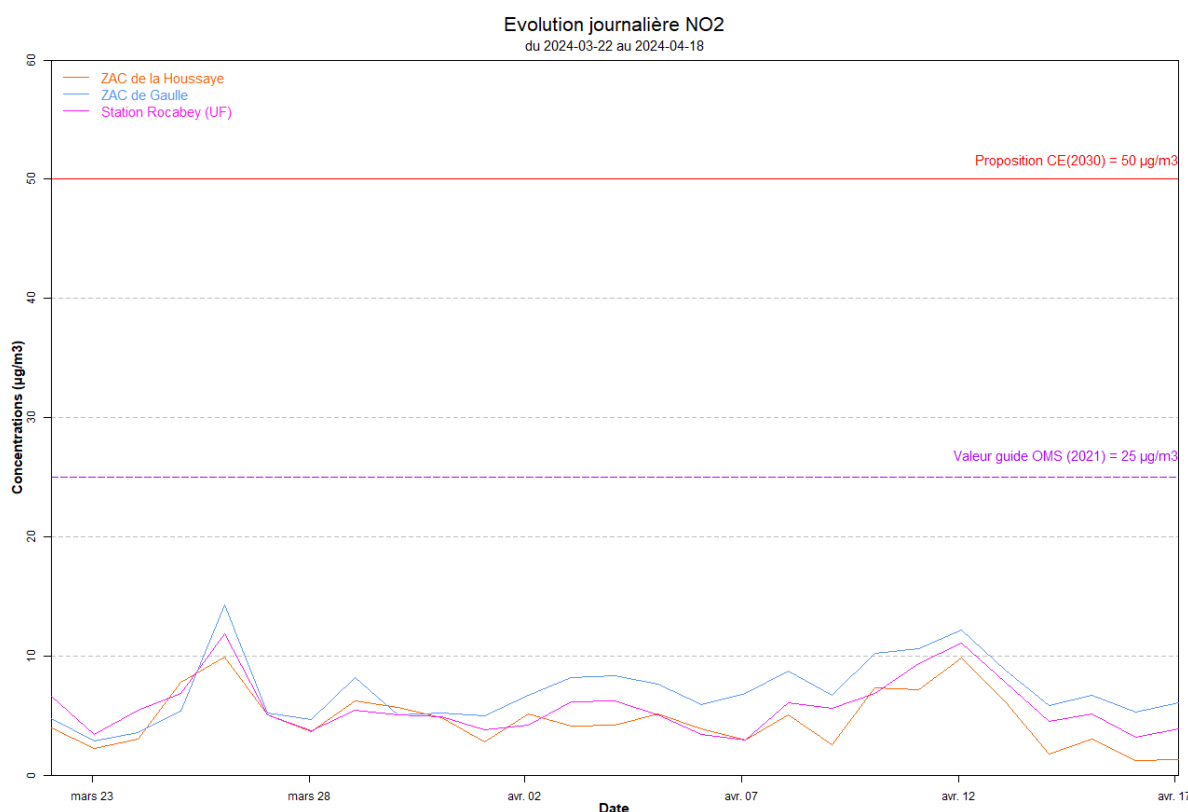


Figure 18 : Evolution journalière des concentrations en NO_2 lors de la campagne hivernale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

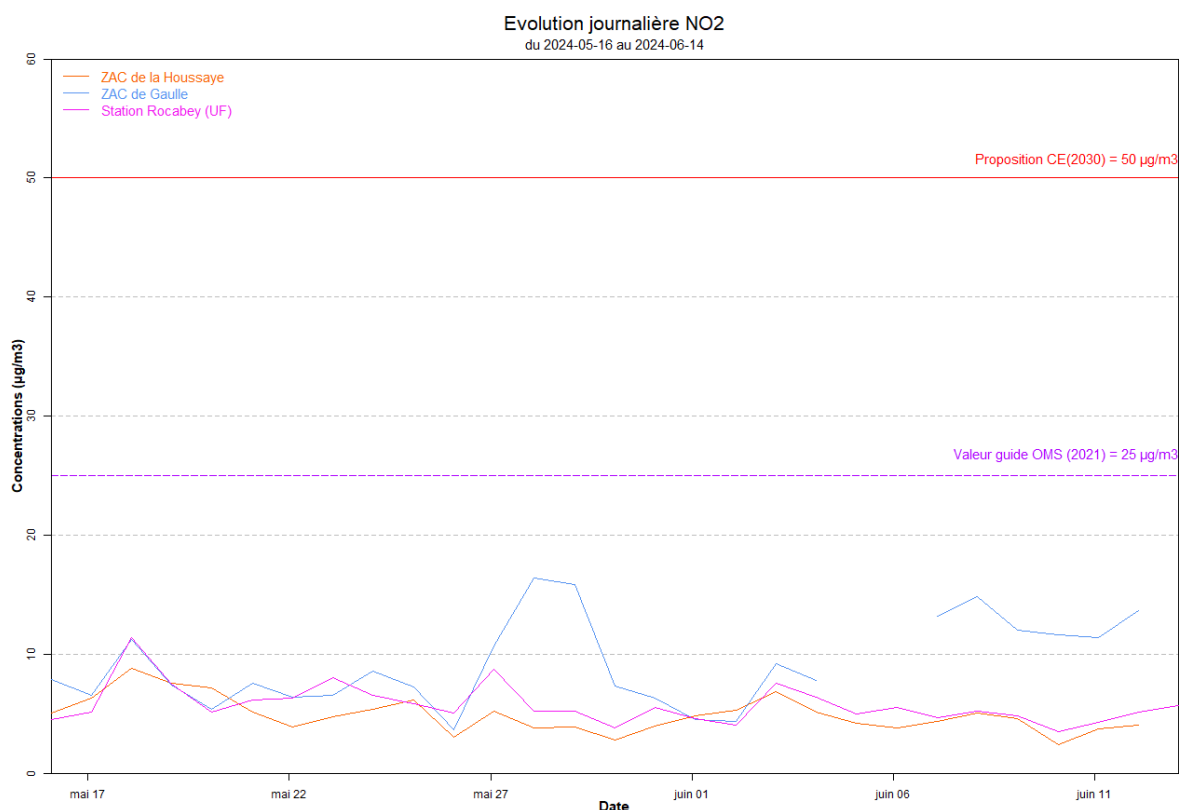


Figure 19 : Evolution journalière des concentrations en NO₂ lors de la campagne estivale (µg/m³)

Conclusion dioxyde d'azote :

Les valeurs limites réglementaires pour la protection de la santé humaine en moyenne horaire (200 µg/m³) et annuelle (40 µg/m³) n'ont jamais été dépassée sur les deux campagnes, sur les deux zones d'étude.

En moyenne journalière, la valeur guide de l'OMS (25 µg/m³) et le seuil CE à atteindre en 2030 (50 µg/m³) sont également respectés.

La ZAC CDG présente des concentrations plus élevées en NO₂ en raison de sa proximité à un axe routier très fréquenté. L'analyse de l'évolution spatiale permet toutefois de mettre en évidence un impact limité aux environs immédiats de l'axe routier. Les niveaux diminuent rapidement au fur et à mesure de l'éloignement de l'avenue (voir ANNEXE 5).

V4.Résultats des mesures en ammoniac (NH₃)

Dans cette partie, les niveaux en ammoniac (NH₃) sont étudiés. Le NH₃ a été mesuré sur les deux zones d'étude : ZAC CDG et ZAC de la Houssaye.

Ces mesures sont comparées à celles de la station Kergoff, station nationale permettant le suivi des niveaux de fond rural (RF).

a) Evolution temporelle des niveaux en particules (NH₃)

Le Tableau 14 ci-dessous présente une synthèse statistique des mesures en NH₃ réalisées sur les deux zones d'étude (ZAC CDG, ZAC de la Houssaye) et à la station de référence Kergoff (RF).

Tableau 14 : Synthèse statistique des mesures en NH₃ (µg/m³).

NH ₃	ZAC CDG (G1/G2)		ZAC de la Houssaye (H1/H2)		Kergoff (RF*)	
	hivernale	estivale	hivernale	estivale	hivernale	estivale
Données horaires						
1 ^{er} quartile	1,5	1,7	1,3	1,2	1,6	2,3
Médiane	2,1	2,4	2,2	2,1	2,5	2,9
Moyenne	2,6	2,8	3,0	2,4	3,1	3,1
3 ^{ème} quartile	3,1	3,5	3,6	3,4	3,7	3,8
Maximum horaire	8,9	10,7	16,6	7,5	13,4	7,6
Données journalières						
Maximum journalier	5,5	6,4	9,7	5,1	8,8	4,8

* RF : station réglementaire Rurale de Fond

Au vu des résultats de ce tableau, les niveaux en NH₃ mesurés sur les deux zones d'étude sont faibles et très proches de ceux mesurés à la station Kergoff. Les concentrations moyennes sont proches entre les deux périodes de mesure (2 à 3 µg/m³).

La Figure 20 ci-dessous présente les jeux de données horaires des sites de mesure fixe, pour les deux campagnes, sous la forme de box plot.

La distribution des données de mesure présente peu de variation pour les 3 sites de mesure. La majorité des mesures horaires sont comprises entre 0 et 10 µg/m³.

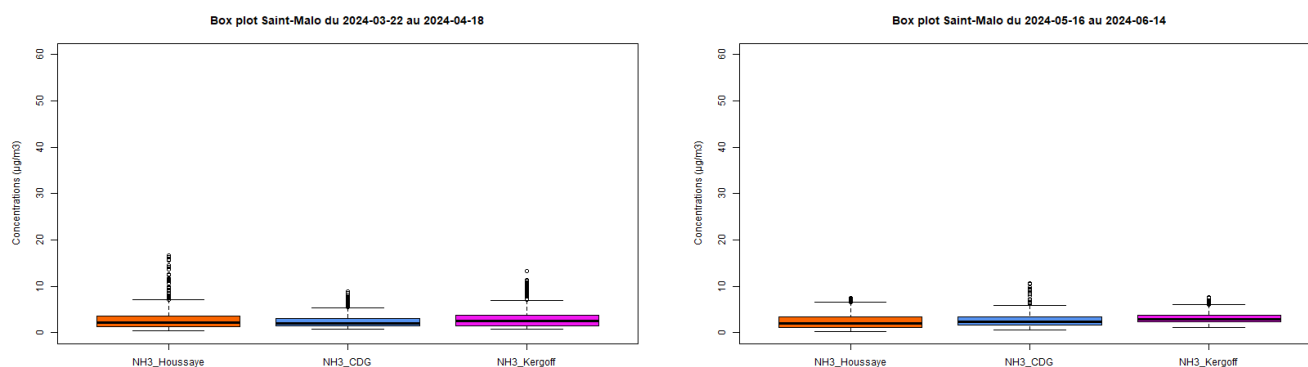


Figure 20 : Box plot des concentrations en NH₃ mesurées sur les deux campagnes (données horaires)

Les Figure 21 et Figure 22 ci-après présentent les évolutions journalières en NH₃ sur les 3 sites de mesure pour les deux campagnes.

On peut voir sur ces graphiques que les niveaux sont très faibles (inférieur à 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) et présentent peu de variations de concentration.

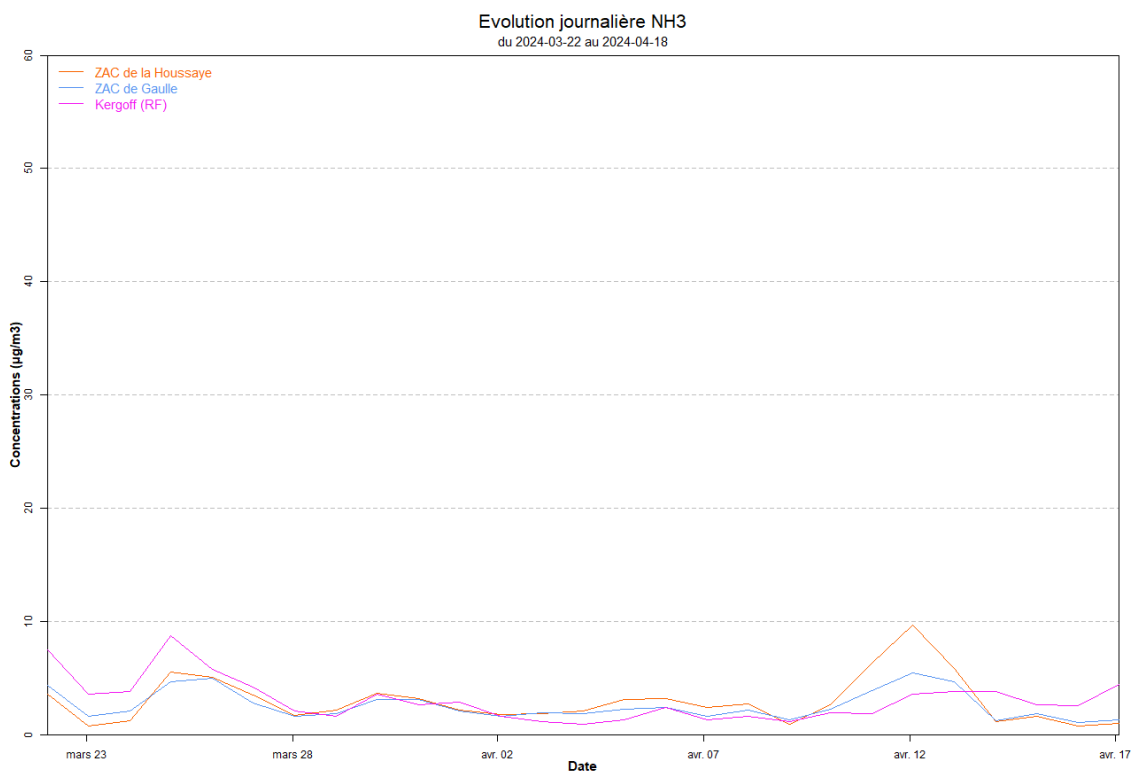


Figure 21 : Evolution journalière des concentrations en NH_3 lors de la campagne hivernale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

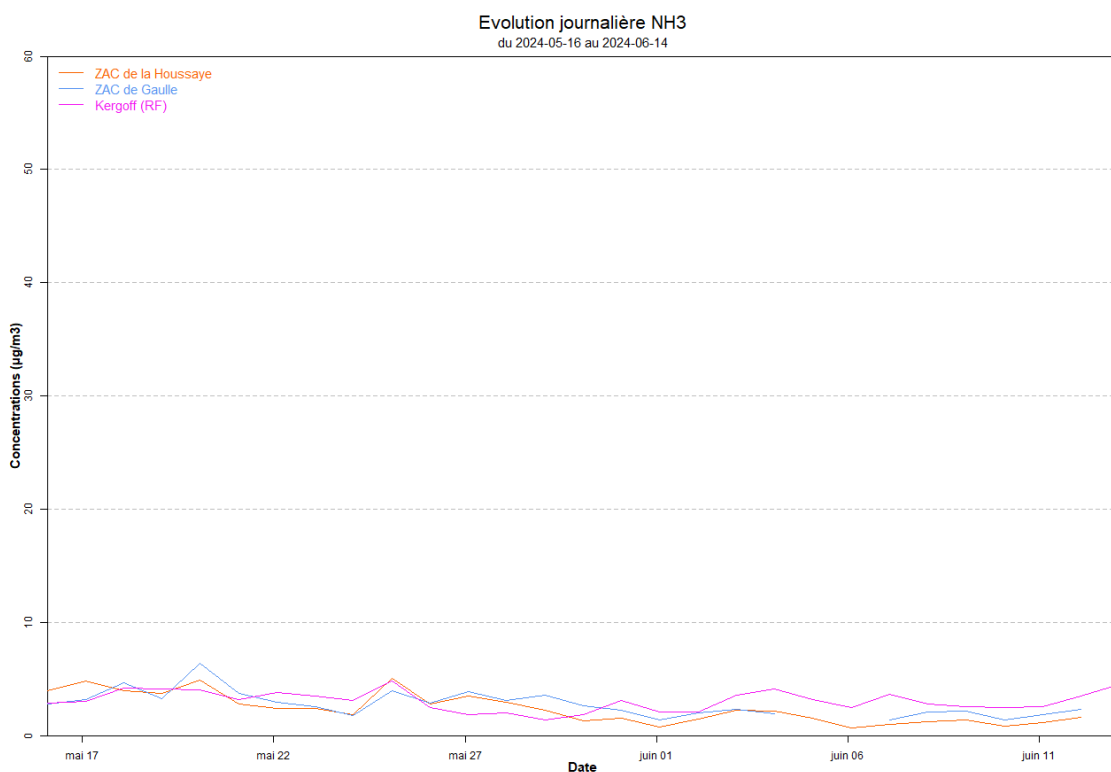


Figure 22 : Evolution journalière des concentrations en NH_3 lors de la campagne estivale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Conclusion :

Les niveaux en ammoniac sont très faibles sur les deux zones d'étude et présentent peu de variations. Les concentrations moyennes sont proches entre les deux périodes de mesure (2 à 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) et sont comparables à celle de la station rurale de fond Kergoff (située en centre Bretagne).

Rappelons que les campagnes ont été dominées par des vents de secteurs Sud en hiver et Nord-Ouest en été. Dans ces conditions, le point de mesure de la ZAC De Gaulle ne s'est pas retrouvé sous l'influence des émissions de l'usine TIMAC (400 m au Nord-Est) faisant l'objet d'une surveillance en continu de ses rejets d'ammoniac du fait des activités exercées.

V5.Résultats des mesures en particules PM_{2,5}

Dans cette partie, les niveaux en particules PM_{2,5} sur les 2 zones d'étude (ZAC CDG et ZAC de la Houssaye) sont étudiés.

Ces mesures sont comparées aux valeurs seuils de référence disponibles (valeurs guides de l'OMS et seuil CE à atteindre en 2030) et aux mesures de la station urbaine de fond Rocabey.

a) Evolution temporelle des niveaux en particules (PM_{2,5})

Le Tableau 15 ci-dessous présente une synthèse statistique des mesures en PM_{2,5} réalisées aux 3 points de mesure fixe (Rocabey (UF), ZAC CDG et ZAC de la Houssaye). Les maximums journaliers et les moyennes annuelles estimées sont comparés aux seuils de référence.

Tableau 15 : Synthèse statistique des mesures en PM_{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

PM _{2,5}	Rocabey – UF*		ZAC CDG (G1/G2)		ZAC de la Houssaye (H1/H2)	
	hivernale	estivale	hivernale	estivale	hivernale	estivale
Données horaires						
1 ^{er} quartile	3,3	4,0	4,0	4,2	3,7	3,9
Médiane	5,3	6,2	6,0	5,6	5,7	5,1
Moyenne	5,6	6,8	6,0	6,9	5,7	6,3
3 ^{ème} quartile	7,5	9,1	7,7	7,9	7,2	7,3
Maximum horaire	19,9	28,3	15,5	30,2	46,7	25,8
Données journalières						
Valeur guide OMS	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en <u>moyenne journalière</u>					
CE 2030	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en <u>moyenne journalière</u>					
Maximum journalier	9	15	9	20	10	18
Données moyennes annuelles						
Valeur guide OMS	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en <u>moyenne annuelle</u>					
CE 2030	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en <u>moyenne annuelle</u>					
Valeur limite	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en <u>moyenne annuelle</u>					
Moyenne annuelle estimée	6		6		6	

* UF : station réglementaire Urbaine de Fond

Au vu des résultats de ce tableau, la valeur seuil proposé par la commission européenne en moyenne journalière (à atteindre en 2030) n'a jamais été dépassée sur les 3 sites de mesure. Cependant, les deux zones d'étude ont dépassé la valeur guide de l'OMS en moyenne journalière lors de la campagne estivale (ZAC CDG : 20,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et ZAC Houssaye : 18,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). A ce jour la réglementation en vigueur ne fixe pas de valeur limite sur ce pas de temps.

Les **moyennes annuelles** estimées sur les trois sites de mesure dépassent la valeur guide de l'OMS. La valeur seuil de la commission européenne à atteindre en 2030 ($10\mu\text{g}/\text{m}^3$) et la valeur limite actuelle de $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ sont respectées.

On remarque que les moyennes entre les sites de mesure sont très proches (entre 5 et $7\mu\text{g}/\text{m}^3$) et qu'il y a peu de variabilité entre les deux périodes de mesure.

La Figure 23 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 que les niveaux max ont été plus importants lors de la campagne estivale par rapport à la campagne hivernale, comme le montre les outliers (points en dehors des quartils du boxplot) sur le graphique.

Deux pics de concentration ont été mesurés sur la ZAC de la Houssaye lors de la campagne hivernale, probablement en raison d'une pollution locale. Lors de la première campagne de mesure, des travaux de la Régie Malouine de l'eau (RME) avaient lieux à proximité du laboratoire mobile (travaux sur les canalisations). Il est possible que cette activité ait influencé ponctuellement les mesures de l'analyseur.

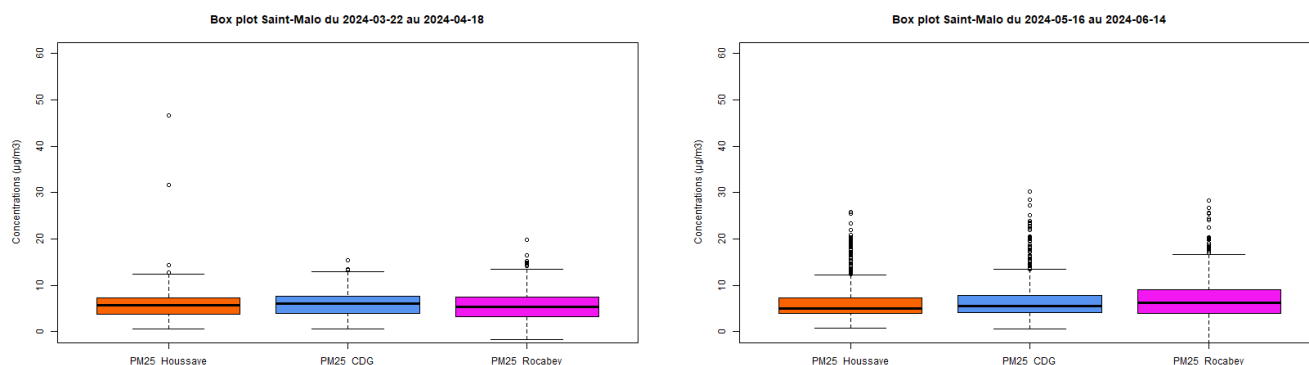


Figure 23 : Box plot des concentrations en PM_{2,5} mesurées sur les deux campagnes (données horaires)

Les Figure 27 et Figure 28 ci-après présentent les évolutions journalières en PM_{2,5} sur les 3 sites de mesure pour les deux campagnes.

Les profils des 3 sites sont très similaires pendant les deux campagnes. On remarque un pic de concentration le 20 mai qui dépasse la valeur guide de l'OMS ($15\mu\text{g}/\text{m}^3$) pour les sites CDG et Houssaye. L'élévation simultanée des niveaux en PM_{2,5} à la station Rocabey confirme la survenue d'un événement généralisé à la ville de Saint-Malo.

Conclusion :

Les profils des concentrations en PM_{2,5} et les niveaux mesurés sont très proches entre les sites de mesure pour les deux campagnes.

La valeur seuil proposée par la commission européenne en moyenne journalière (à atteindre en 2030) n'a jamais été dépassée sur les 3 sites de mesure. En revanche, les deux zones d'étude ont dépassé la valeur guide de l'OMS en moyenne journalière le 20/05 lors de la campagne estivale (ZAC CDG : $20,3\mu\text{g}/\text{m}^3$ et ZAC Houssaye : $18,0\mu\text{g}/\text{m}^3$). Pour cette journée, l'augmentation simultanée des niveaux pour les 3 sites de mesure à St Malo met en avant un contexte généralisé à la ville et non spécifique aux zones étudiées.

Etude ZAC Houssaye / CDG : état initial de la qualité de l'air

Les moyennes annuelles estimées sur les trois sites de mesure dépassent la valeur guide de l'OMS. La valeur seuil de la commission européenne à atteindre en 2030 et la valeur limite réglementaire actuelle de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sont respectées.

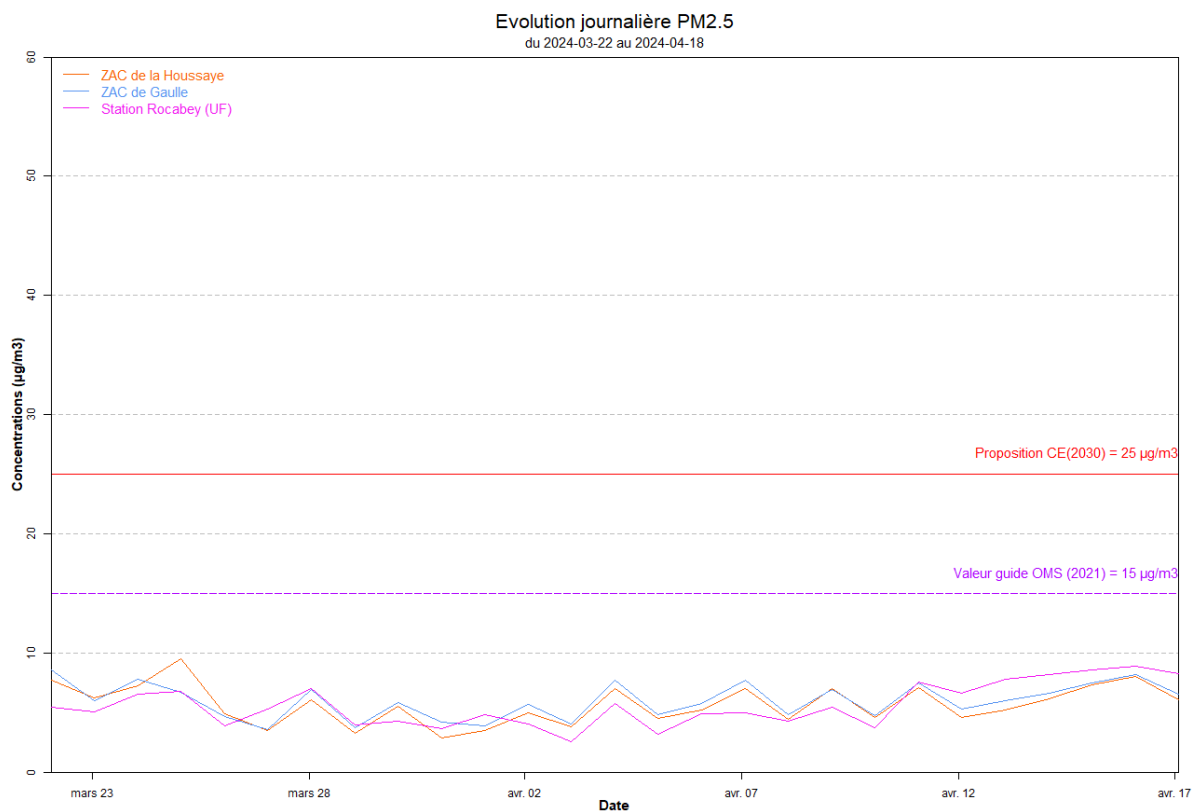


Figure 24 : Evolution journalière des concentrations en PM2,5 lors de la campagne hivernale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Etude ZAC Houssaye / CDG : état initial de la qualité de l'air

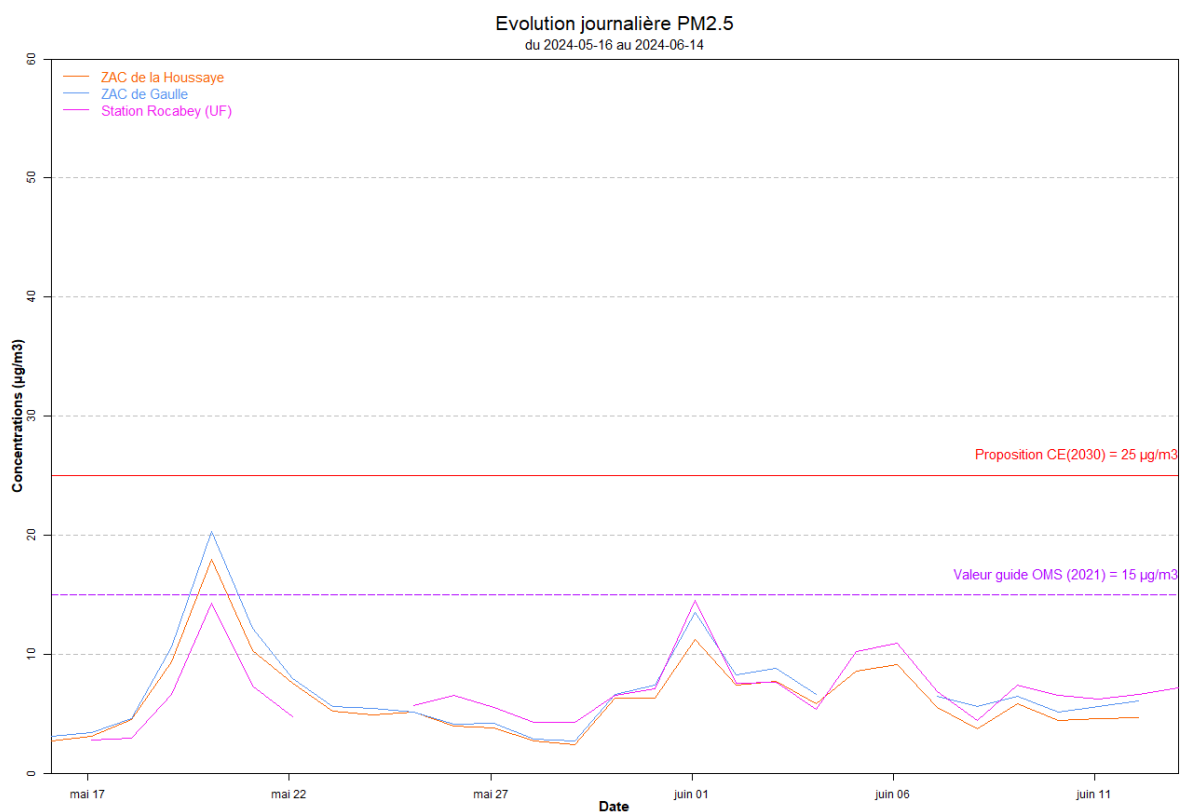


Figure 25 : Evolution journalière des concentrations en PM_{2,5} lors de la campagne estivale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

V6.Résultats des mesures en particules PM10

Dans cette partie, les niveaux en particules (PM10) sur les 2 zones d'étude (ZAC CDG et ZAC de la Houssaye) sont étudiés.

Ces mesures sont comparées aux valeurs seuils de référence (valeur limites réglementaires pour la protection de la santé humaine, valeurs guides de l'OMS et seuil CE à atteindre en 2030) et aux mesures de la station urbaine de fond Rocabey.

b) Evolution temporelle des niveaux en particules PM10

Le

Tableau 16 ci-dessous présente une synthèse statistique des mesures en PM10 réalisées sur les trois sites. Les maximums journaliers et les moyennes annuelles estimées sont comparés aux seuils de référence.

Tableau 16 : Synthèse statistique des mesures en PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

PM10	Rocabey – UF*		ZAC CDG (G1/G2)		ZAC de la Houssaye (H1/H2)	
	hivernale	estivale	hivernale	estivale	hivernale	estivale
Données horaires						
1 ^{er} quartile	8,7	9,4	7,2	7,7	7,0	7,1
Médiane	13,4	13,7	10,8	10,2	10,7	9,1
Moyenne	15,0	15,1	11,2	11,7	11,2	10,8
3 ^{ème} quartile	20,0	20,0	14,5	14,0	14,6	13,2
Maximum horaire	44,3	43,3	45,7	39,2	52,8	66,1
Données journalières						
Valeur guide OMS	45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en <u>moyenne journalière</u>					
CE 2030	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	12	29	17	29	19	25
Données moyennes annuelles						
Valeur guide OMS	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en <u>moyenne annuelle</u>					
CE 2030	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en <u>moyenne annuelle</u>					
Valeur limite	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en <u>moyenne annuelle</u>					
Moyenne annuelle estimée	15		11		11	

* UF : station réglementaire Urbaine de Fond

Au vu des résultats de ce tableau, aucunes des valeurs de référence en moyenne journalière n'ont été dépassées sur les 3 sites de mesure (max journalier : 28,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ – station Rocabey).

De même, les moyennes annuelles estimées sur les deux zones d'étude respectent les valeurs de référence (la valeur guide de l'OMS, la valeur seuil de la commission européenne à atteindre en 2030 et la valeur limite réglementaire actuelle).

La Figure 26 ci-dessous présente les jeux de données horaires des sites de mesure, pour les deux campagnes, sous la forme de box plot.

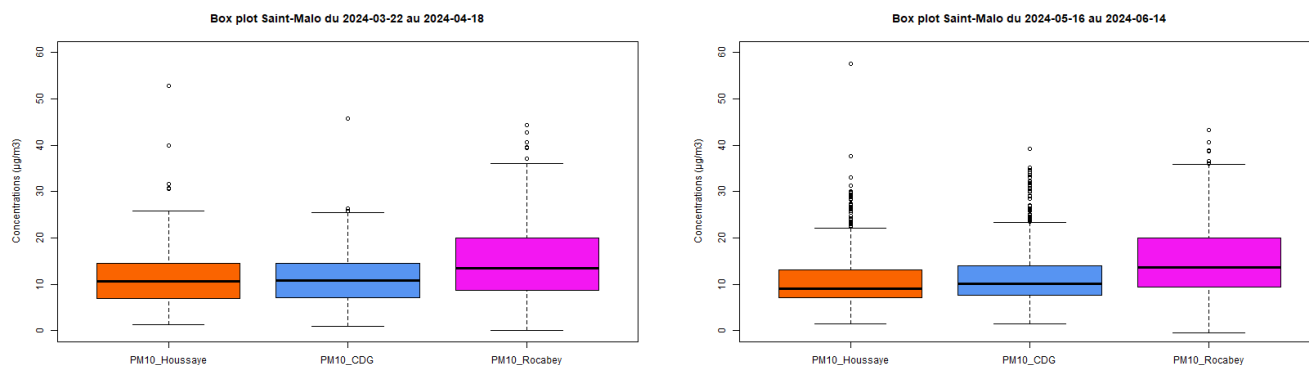


Figure 26 : Box plot des concentrations en PM10 mesurées sur les deux campagnes (données horaires)

On remarque que les deux zones d'étude ont un profil similaire avec des valeurs de quartiles très proches. En comparaison, la station de référence Rocabey présente des niveaux plus importants sur les deux campagnes (moyenne horaire = 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Les Figure 27 et Figure 28 ci-après présentent les évolutions journalières en PM10 sur les 3 sites de mesure pour les deux campagnes.

Les profils des 3 sites sont très similaires pour les deux campagnes. Le décalage de la station Rocabey montre que les niveaux de fond en PM10 sont légèrement moins importants sur les deux zones d'étude (ZAC CDG et ZAC de la Houssaye).

Conclusion :

Les profils des concentrations en PM10 sont assez similaires entre les sites de mesure, avec des niveaux de fond plus importants pour la station de référence Rocabey, sur les deux campagnes.

Aucunes des valeurs de référence en moyenne journalière (valeur limites réglementaires pour la protection de la santé humaine, valeurs guides de l'OMS et seuil CE à atteindre en 2030) n'ont pas été dépassées sur les 2 zones d'étude (max journalier : 29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ – ZAC De Gaulle).

De même, les moyennes annuelles estimées sur les deux zones d'étude respectent les valeurs de référence (la valeur guide de l'OMS, la valeur seuil de la commission européenne à atteindre en 2030 et la valeur limite réglementaire actuelle).

Etude ZAC Houssaye / CDG : état initial de la qualité de l'air

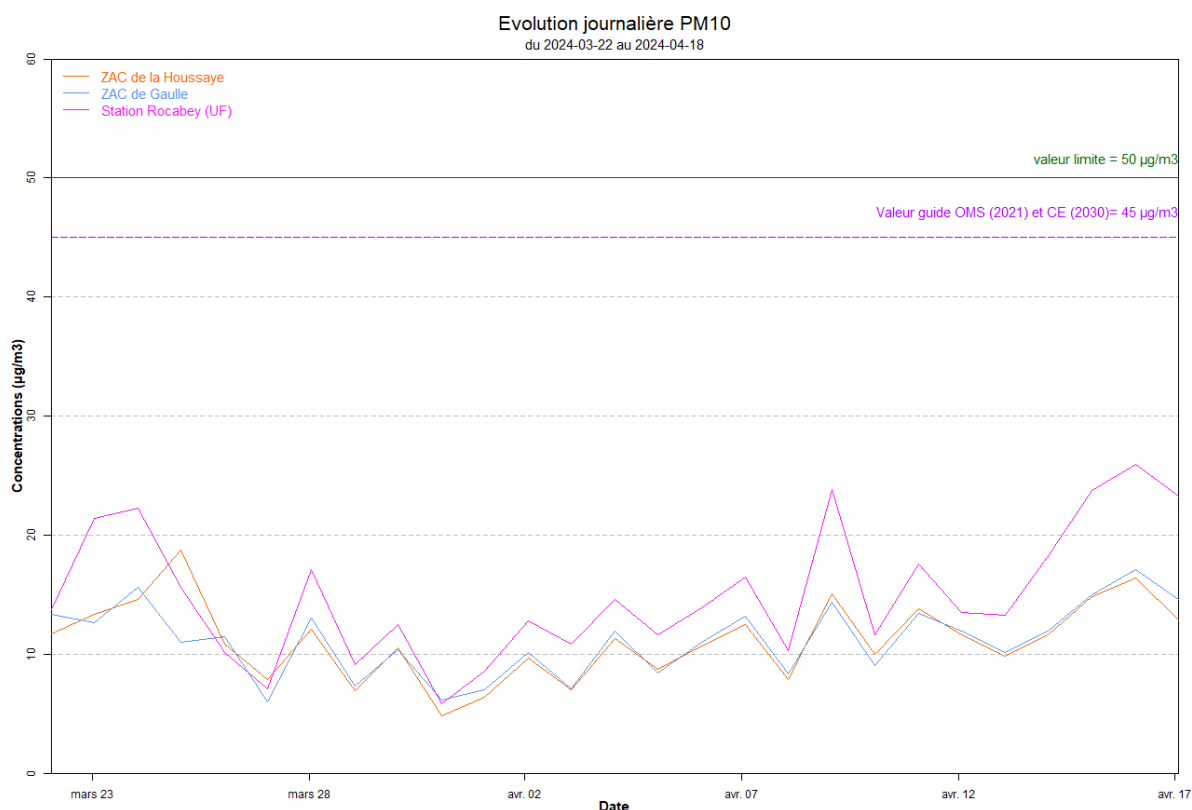


Figure 27 : Evolution journalière des concentrations en PM10 lors de la campagne hivernale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

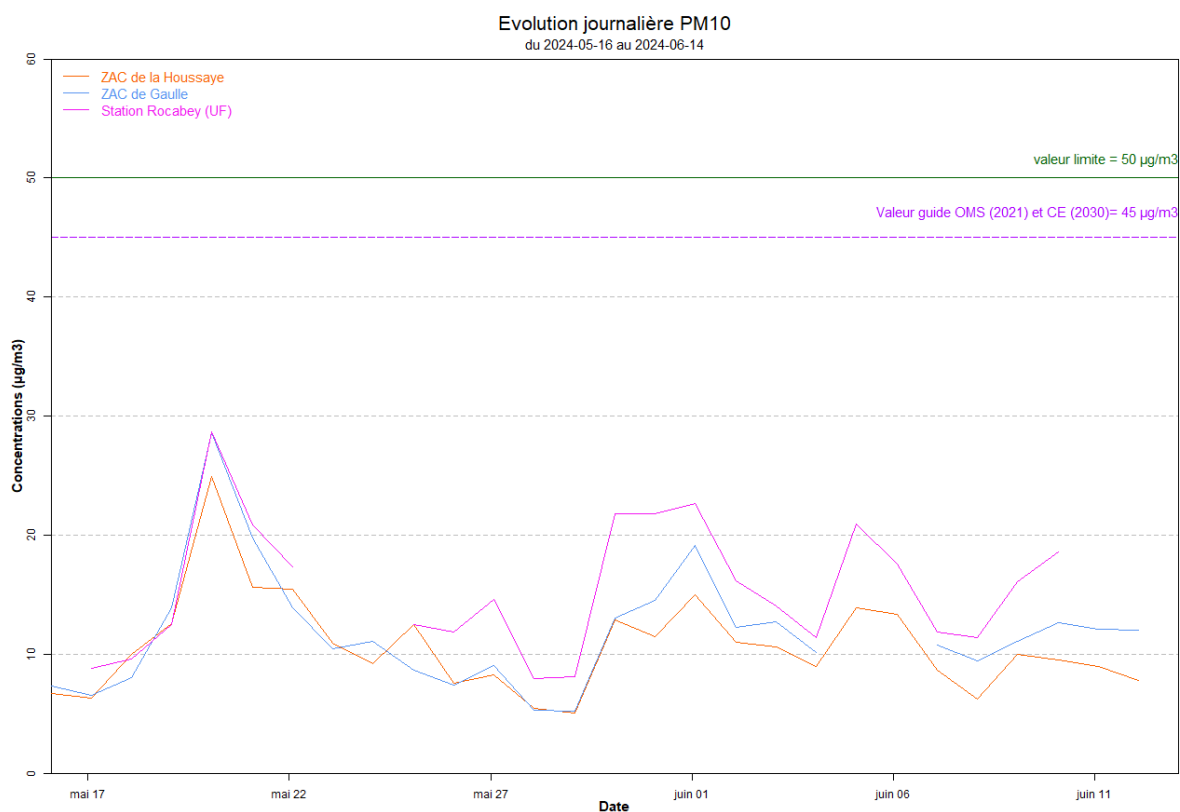


Figure 28 : Evolution journalière des concentrations en PM10 lors de la campagne estivale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

VI. 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

Les conditions de vents rencontrées pendant cette campagne sont assez proches des normales saisonnières excepté une absence de vents de Nord pendant la période hivernale retenue. Pendant cette campagne hivernale, le site de mesure n'a pas été sous l'influence des émissions de la partie Nord de la ZAC, notamment les installations industrielles de l'usine TIMAC.

Les précipitations ont été plus faibles pendant la campagne estivale par rapport aux normales, ce qui pourrait influencer les concentrations en polluant (diminution du « lessivage » de l'atmosphère).

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.

- Dates des campagnes de mesure

Les niveaux en particules et en NO₂ rencontrés aux mois de mars et avril 2024 (période retenue pour la campagne hivernale) à la station Rocabey semblent plus proches des niveaux rencontrés pendant la saison estivale. Il est possible que les niveaux annuels estimés à partir des deux campagnes soient sous-estimés.

- Travaux à proximité de la zone d'étude (ZAC Houssaye)

Lors de la première campagne de mesure, des travaux sur les canalisations avaient lieu à proximité du laboratoire mobile. Le détail des opérations (types et durées) n'est pas connu mais il est possible que cette activité ait influencé ponctuellement les mesures.

2. Résultats des mesures en NO₂ :

Les valeurs limites réglementaires pour la protection de la santé humaine en moyenne horaire (200 µg/m³) et annuelle (40 µg/m³) n'ont jamais été dépassées sur les deux zones d'étude.

En moyenne journalière, la valeur guide de l'OMS (25 µg/m³) et le seuil CE à atteindre en 2030 (50 µg/m³) ont également été respectés.

La ZAC CDG présente des concentrations plus élevées en NO₂ en raison de sa proximité à un axe routier très fréquenté. L'analyse de l'évolution spatiale permet toutefois de mettre en évidence un impact limité aux environs immédiats de l'axe routier. Les niveaux diminuent rapidement au fur et à mesure de l'éloignement de l'avenue.

3. Résultats des mesures en ammoniac (NH₃) :

Les niveaux en ammoniac sont très faibles sur les deux zones d'étude et présentent peu de variations. Les concentrations moyennes sont proches entre les deux périodes de mesure (2 à

3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) et sont comparables à celle de la station rurale de fond Kergoff (située en centre Bretagne).

Il est à noter que les campagnes ont été dominées par des vents de secteurs Sud en hiver et Nord-Ouest en été. Dans ces conditions, le point de mesure de la ZAC De Gaulle ne s'est pas retrouvé sous l'influence des émissions de l'usine TIMAC (400 m au Nord-Est) faisant l'objet d'une surveillance en continu de ses rejets d'ammoniac du fait des activités exercées.

4. Résultats des mesures en particules PM_{2,5} :

Les profils des concentrations en PM_{2,5} et les niveaux mesurés sont très proches entre les sites de mesure, pour les deux campagnes.

La valeur seuil proposée par la commission européenne en moyenne journalière (à atteindre en 2030) n'a jamais été dépassée sur les 3 sites de mesure. En revanche, les deux zones d'étude ont dépassé la valeur guide de l'OMS en moyenne journalière lors de la campagne estivale le 20/05/24 (ZAC CDG : 20,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et ZAC Houssaye : 18,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). **Pour cette journée, l'augmentation simultanée des niveaux pour les 3 sites de mesure à St Malo met en avant un contexte généralisé à la ville et non spécifique aux zones étudiées.** Les moyennes annuelles estimées sur les trois sites de mesure dépassent la valeur guide de l'OMS. La valeur seuil de la commission européenne à atteindre en 2030 et la valeur limite réglementaire actuelle de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sont respectées.

5. Résultats des mesures en particules PM₁₀ :

Les profils des concentrations en PM₁₀ sont assez similaires entre les sites de mesure, avec des niveaux de fond relevés sur les deux zones d'étude légèrement inférieurs à ceux de la station de fond Rocabey.

Aucunes des valeurs de référence en moyenne journalière (valeur limites réglementaires pour la protection de la santé humaine, valeurs guides de l'OMS et seuil CE à atteindre en 2030) n'ont pas été dépassées sur les 2 zones d'étude (max journalier : 29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ – ZAC De Gaulle). De même, les moyennes annuelles estimées sur les deux zones d'étude respectent les valeurs de référence (la valeur guide de l'OMS, la valeur seuil de la commission européenne à atteindre en 2030 et la valeur limite réglementaire actuelle).

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.

CONCLUSION

La ville de Saint-Malo prévoit la création de deux Zones d'Aménagement Concerté (dites ZAC) : la ZAC du Général de Gaulle (ZAC CDG) et la ZAC de la Houssaye.

Dans le cadre du questionnement de l'autorité environnementale sur l'état de la qualité de l'air sur la future ZAC CDG (et en anticipation pour la ZAC de la Houssaye), Air Breizh a réalisé un état initial de la qualité de l'air avant aménagement pour les deux futures zones d'activités.

- **Rappel du protocole et du contexte des mesures :**

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 22 mars au 18 avril 2024
- 2nd campagne dite 'estivale' : du 16 mai au 14 juin 2024

Les polluants à enjeux sanitaires ont été mesurés sur la zone d'étude, pour évaluer l'impact des activités à proximité sur la qualité de l'air des futurs quartiers riverains.

Il est à noter que pendant la première campagne de mesure dite hivernale, les vents provenant du Nord étaient très faibles par rapport aux conditions normales. Au niveau de la ZAC De Gaulle pendant la campagne hivernale, le point de mesure a donc été très peu sous l'influence des émissions situées au Nord de la zone et notamment les rejets des installations de l'usine TIMAC.

De plus, la période de mesure dite « hivernale » a été tardive (mars/avril 24). Les mesures enregistrées à Rocabey pendant cette période sont plus proches des niveaux enregistrés habituellement en période estivale. De ce fait, il est possible que les niveaux annuels estimés à partir des deux campagnes soient sous-estimés.

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

Le Tableau 17 ci-dessous présente une synthèse des niveaux mesurés lors de cette étude, comparés aux valeurs de référence (valeur limite réglementaire actuelle et seuil de la commission européenne à atteindre en 2030).

➔ Comparaison aux valeurs réglementaires actuelles

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

Les seuils en moyenne annuelle, journalière et horaire pour les PM10/PM2,5 et le NO₂ sont respectés.

➔ Comparaison aux valeurs à respecter en 2030 (projet de révision de la Directive Européenne)

Pour la **ZAC CDG** les niveaux respectent les seuils CE à atteindre en 2030 pour les 3 polluants mesurés excepté la moyenne annuelle en NO₂ sur la zone de la ZAC De Gaulle. Cela concerne 4 sites de mesure, le long de l'avenue du Général De Gaulle, en raison d'un fort niveau de

trafic routier. Les résultats mettent en avant une forte diminution en fonction de l'éloignement à cette avenue.

Concernant la **ZAC de la Houssaye**, les niveaux de dioxyde d'azote et particules fines (PM10 et PM2.5) respectent les seuils CE à atteindre en 2030.

Tableau 17 : Comparaison des niveaux mesurés lors de cette étude aux valeurs de référence.

Polluants	Moyenne	Réglementation actuelle	Proposition CE du 26/10/2023	ZAC CDG	ZAC de la Houssaye	Rocabey (UF*)
en $\mu\text{g}/\text{m}^3$						
NO ₂	annuelle	40	20	max moyenne annuelle estimée = 25	max moyenne annuelle estimée = 11	moyenne annuelle estimée = 6
	journalière	/	50 (à ne pas dépasser plus de 18j/an)	max journalier (été + hiver) = 16	max journalier (été + hiver) = 10	max journalier (été + hiver) = 12
	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) = 43	max horaire (été + hiver) = 32	max horaire (été + hiver) = 42
PM _{2,5}	annuelle	25	10	moyenne annuelle estimée = 6	moyenne annuelle estimée = 6	moyenne annuelle estimée = 6
	journalière	/	25 (à ne pas dépasser plus de 18 j/an)	max journalier (été + hiver) = 20	max journalier (été + hiver) = 18	max journalier (été + hiver) = 15
PM ₁₀	annuelle	40	20	moyenne annuelle estimée = 11	moyenne annuelle estimée = 11	moyenne annuelle estimée = 15
	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) = 25	max journalier (été + hiver) = 29

Commentaires : les moyennes annuelles dites estimées ont été calculées à partir de données collectées sur les 2 mois de campagnes, réalisés à deux saisons différentes courant 2024. Pour la station de mesure réglementaire Rocabey, pour laquelle des mesures sont réalisées toute l'année, les moyennes annuelles estimées pour les particules fines et le dioxyde d'azote, sont légèrement inférieures aux moyennes réelles calculées à partir des données de l'ensemble de l'année. Ce constat met en avant une sous-estimation possible des moyennes estimées à partir de ces deux campagnes.

➔ Mesure de l'ammoniac

L'ammoniac a fait l'objet de mesure en continu sur la ZAC De Gaulle. Il n'existe pas de seuil réglementaire à ce jour pour ce polluant. Les niveaux ont été comparés à ceux enregistrés sur le site rural de Kergoff.

Les niveaux mesurés en ammoniac ont été très faibles sur les deux zones d'étude et ont présenté peu de variations. Les concentrations moyennes sont proches entre les deux périodes de mesure (2 à 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) et sont comparables à celle de la station rurale de fond Kergoff (située en centre Bretagne).

Il est à noter que les campagnes ont été dominées par des vents de secteurs Sud en hiver et Nord-Ouest en été. Dans ces conditions, le point de mesure de la ZAC De Gaulle ne s'est pas retrouvé sous l'influence des émissions de l'usine TIMAC (400 m au Nord-Est) faisant l'objet d'une surveillance en continu de ses rejets d'ammoniac du fait des activités exercées.

• Perspectives :

Cette étude a été centrée sur la mesure des polluants à effet sanitaire. Les résultats ont permis de situer les niveaux par rapport aux seuils réglementaires et de connaître l'état initial de la qualité de l'air avant aménagement.

Vu les niveaux rencontrés en NO₂ à proximité de l'avenue du Général De Gaulle (ZAC CDG), il est recommandé d'éviter la construction d'établissements sensibles (type crèche, école, maison de santé) à proximité immédiate.

Cette étude devra être renouvelée après la construction des deux ZAC pour évaluer l'exposition des riverains à la pollution de l'air.

Pour contribuer à l'amélioration des connaissances sur la qualité de l'air à Saint-Malo, l'agglomération et la ville ont sollicité Air Breizh pour la réalisation d'une campagne de mesure sur plusieurs sites de la ville en complément de la station réglementaire de Rocabey. Réalisée sur la base d'un protocole commun, les résultats de la présente étude seront également exploités et comparés à ceux des autres sites de mesure instrumentés.

ANNEXES

ANNEXE 1 : Présentation d'Air Breizh	49
ANNEXE 2: Photo et emplacement des sites de mesure	51
ANNEXE 3 : Résultats des mesures passives en NO ₂	58
ANNEXE 4: Spatialisation des niveaux en NO ₂ (échelle CE 2030)	59
ANNEXE 5 : Modélisation des concentrations en NO ₂ à proximité de la ZAC CDG (2017-2019)	60

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 des laboratoires mobiles, 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 collèges :

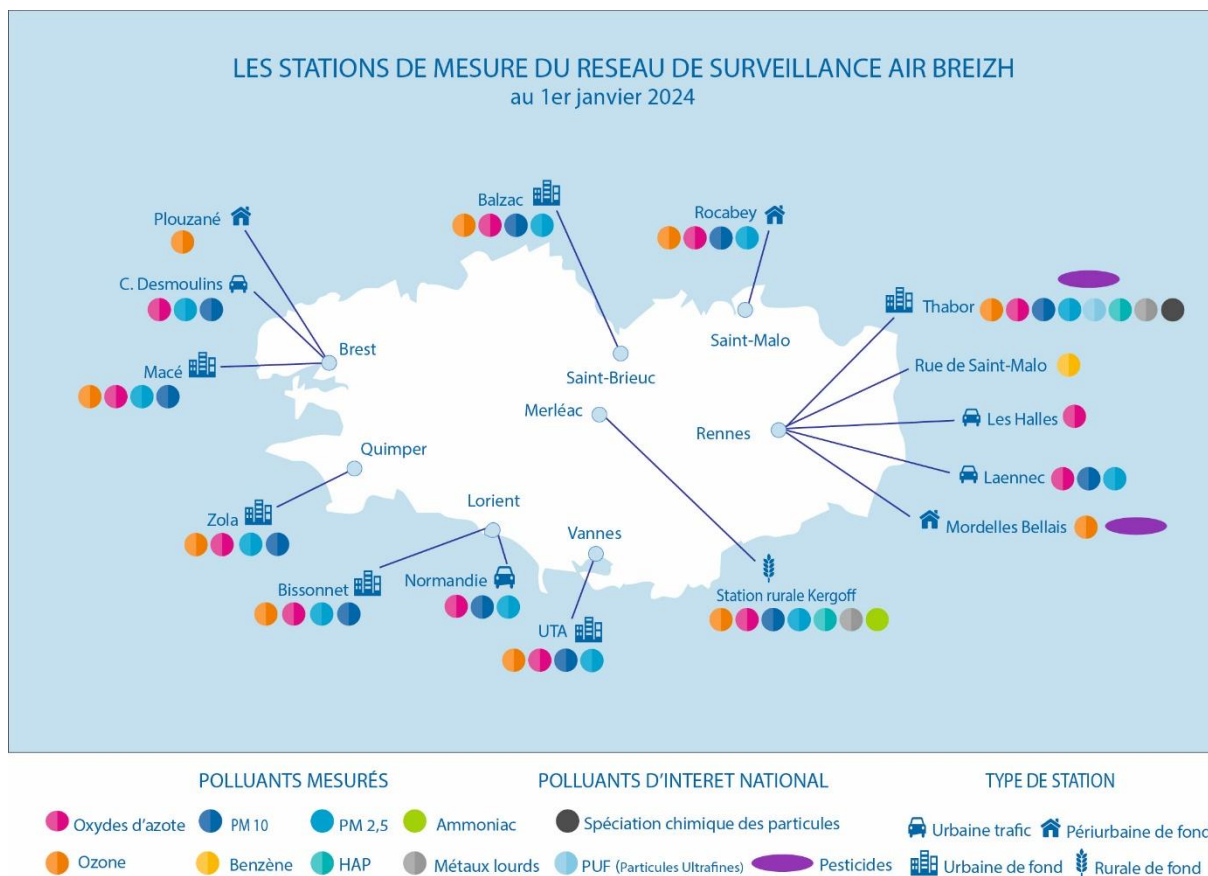
- Collège 1 : services de l'Etat,
- Collège 2 : collectivités territoriales,
- Collège 3 : émetteurs de substances polluantes,
- Collège 4 : associations de protection de l'environnement et personnes qualifiées.

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,



Moyens

Afin de répondre aux missions qui lui incombent, Air Breizh compte vingt 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 EMPLACEMENT DES SITES DE MESURE

Les photos et les coordonnées des sites de mesure sont présentés dans le Tableau 18 ci-dessous.

Tableau 18 : Photos et coordonnées des points de mesure

Points de mesure	Photos	Coordonnées	
		Longitude	Latitude
H1/H2 – ZAC de la Houssaye		48,659115	-1,9666017
Site G1/G2 – ZAC CDG		48,638220	-1,9870928
Site H4		48,658447	-1,9673960
Site H5		48,659297	-1,9651265

Etude ZAC Houssaye / CDG : état initial de la qualité de l'air

Site H6		48,659315	-1,9686251
Site H7		48,660952	-1,9695447
Site H8		48,660479	-1,9705975
Site H9		48,660239	-1,9637787

Site H10		48,661567	-1,9618461
Site H11		48,662586	-1,9659134
Site H12		48,661336	-1,9656505
Site H13		48,662610	-1,9690184

Site H14		48,657859	-1,9700557
Site G3		48,638331	-1,9880919
Site G4		48,639324	-1,9881465
Site G5		48,639273	-1,9890732

Site G6		48,639328	-1,9899108
Site G7		48,640923	-1,9900194
Site G8		48,640924	-1,9888100
Site G9		48,642356	-1,9884282

Etude ZAC Houssaye / CDG : état initial de la qualité de l'air

Site G10		48,642638	-1,9892114
Site G11		48,642880	-1,9900700
Site G12		48,640224	-1,9879581
Site G13		48,639395	-1,9866552

Etude ZAC Houssaye / CDG : état initial de la qualité de l'air

Site G14		48,638268	-1,9897512
Site G15		48,636217	-1,9893036
Site G16		48,636555	-1,9878049

ANNEXE 3 : RESULTATS DES MESURES PASSIVES EN NO₂

Tableau 19 : Résultats des séries de mesure (NO₂ en µg/m³) – campagnes estivale et hivernale

Campagne HIVERNALE (du 21/03 au 18/04/2024)	Série 1	Série 2	Série 3	Série 4	Moyenne mensuelle	Campagne ESTIVALE (du 16/05 au 23/05/2024)	Série 1	Série 2	Série 3	Série 4	Moyenne mensuelle
G.11	28	28	28	24	27	G.14	24	26	21	24	24
G.7	29	26	28	24	27	G.7	24	24	23	23	24
G.14	29	26	24	24	26	G.11	25	27	20	17	22
G.6	24	21	22	20	22	G.6	21	22	20	21	21
G.15	22	22	21	17	21	G.15	18	19	17	16	17
G.10	16	15	15	13	14	G.12	12	12	12	11	12
G.8	15	11	12	13	13	G.10	13	14	10	10	12
H.4	13	12	12	11	12	H.14	16	9	10	12	12
G.16	11	13	13	10	12	H.5	13	10	10	12	11
G.12	13	9	10	13	11	H.4	13	12	10	9	11
G.9	13	10	10	10	11	G.8	13	10	8	10	11
H.5	11	9	9	10	10	* G.1 - ZAC_CDG	7	10	7	13	9
G.5	11	9	10	9	9	G.9	11	10	8	7	9
H.14	11	6	7	10	9	G.16	10	11	6	8	9
G.13	9	7	7	9	8	G.5	9	8	7	10	8
G.4	9	7	7	8	8	G.13	8	7	9	8	8
H.6	8	8	7	< LQ	8	H.12	6	8	< LQ	< LQ	7
H.8	8	8	8	7	8	G.3	8	6	7	7	7
H.9	6	9	9	6	7	H.6	9	9	5	5	7
G.3	8	6	6	8	7	H.8	8	7	6	5	6
* G.1 - ZAC_CDG	7	6	8	8	7	G.4	7	7	6	6	6
G.1 (d)	7	6	6	6	6	G.2	6	6	6	5	6
H.10	6	6	7	5	6	* Rocabey	7	6	5	5	6
G.2	7	5	6	6	6	G.1 (d)	6	6	5	5	6
H.1 (d)	6	7	6	4	6	H.9	7	5	4	< LQ	5
* Rocabey	7	5	5	6	6	H.10	7	6	5	4	5
H.13	6	5	5	5	5	* H.1 - ZAC_Houssaye	6	4	5	4	5
H.7	5	5	5	4	5	H.13	6	5	4	4	5
* H.1 - ZAC_Houssaye	5	5	4	4	5	H.1 (d)	5	4	< LQ	< LQ	5
H.11	5	4	4	5	5	H.11	5	4	< LQ	3	4
H.12	3	4	4	3	4	H.7	4	4	3	3	4

*	Analyseur de mesure fixe
< LQ	Résultat d'analyse inférieur à la limite de quantification du laboratoire

ANNEXE 4: SPATIALISATION DES NIVEAUX EN NO₂ (ECHELLE CE 2030)

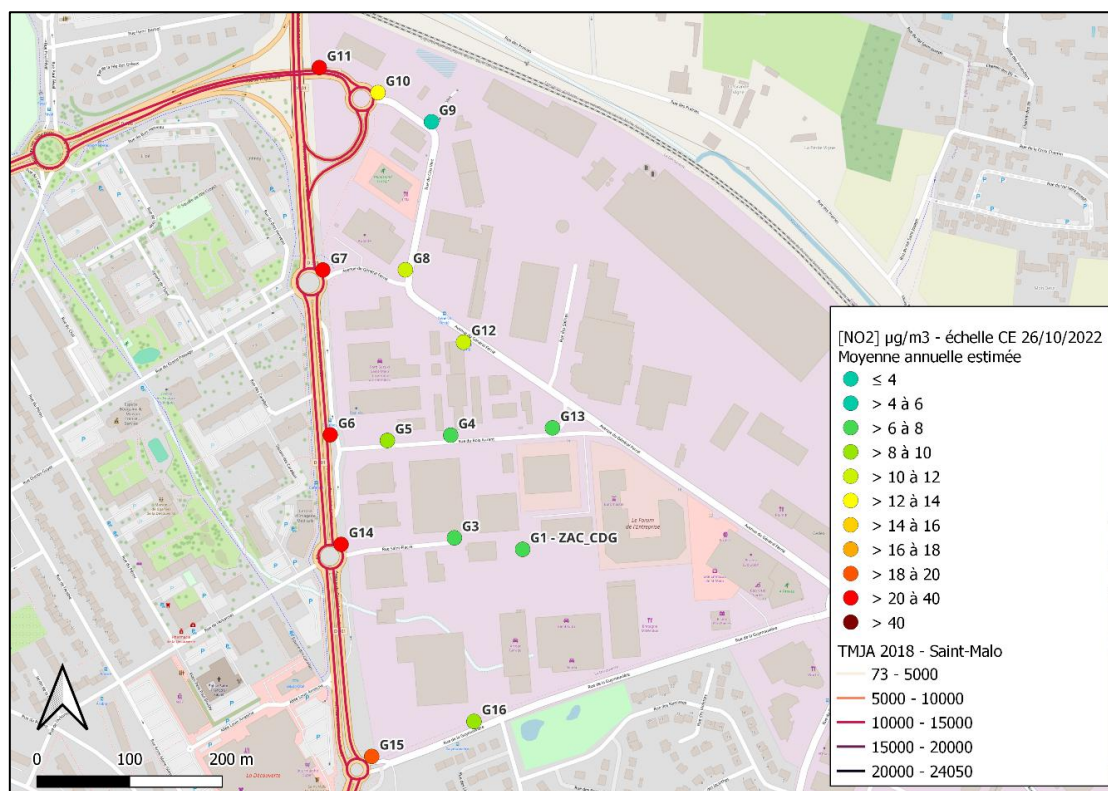


Figure 29 : Carte des concentrations moyennes annuelles en NO₂ estimées sur la zone d'étude (moyenne des deux campagnes en µg/m³, échelle CE objectif 2030)

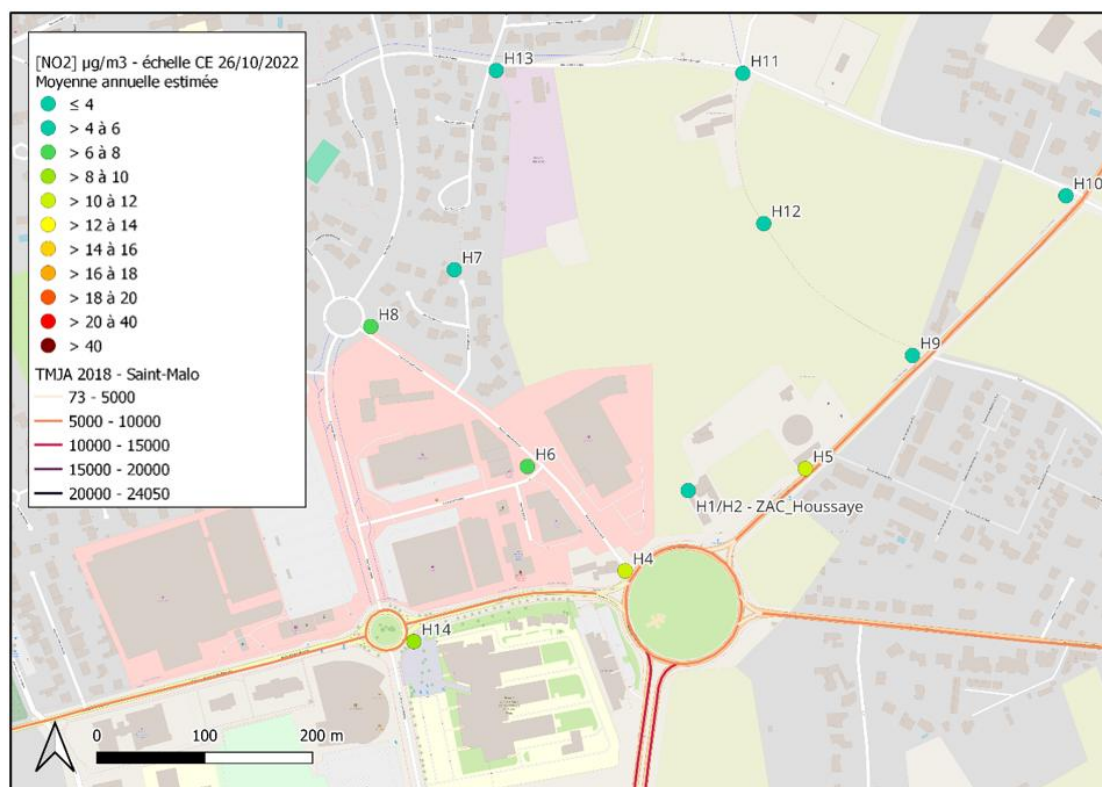


Figure 30 : Carte des concentrations moyennes annuelles en NO₂ estimées sur la zone d'étude (moyenne des deux campagnes en µg/m³, échelle CE objectif 2030)

ANNEXE 5 : MODELISATION DES CONCENTRATIONS EN NO₂ A PROXIMITE DE LA ZAC CDG (2017-2019)

En complément des mesures physiques, la modélisation fait partie des missions d'Air Breizh pour améliorer la couverture spatiale de la surveillance.

L'influence des émissions de NO₂ issues de l'avenue du Général de Gaulle sur la zone d'étude est présentée sur la Figure 31 ci-dessous. Cette modélisation a été réalisée en 2021 par Air Breizh.

L'intérêt de cette représentation graphique utilisant la modélisation des moyennes annuelles entre 2017 et 2019 est de présenter une estimation des concentrations en NO₂ habituellement rencontrées sur la zone d'étude avec une précision de 10 x 10 m. L'échelle utilisée fait référence au seuil de 20 µg/m³ en moyenne annuelle (CE 2030).

On peut voir que **les niveaux en NO₂ dépassent la valeur seuil CE 2030 à proximité immédiate de l'avenue du Général De Gaulle, en accord avec les résultats des mesures passives.** En fonction de l'éloignement à l'avenue, les niveaux descendent rapidement sous les 20 µg/m³ (seuil CE 2030) à partir d'environ 10-20 m.

Concernant la sortie pour la D126, au Nord de la ZAC, les niveaux en NO₂ redescendent sous le seuil CE 2030 à partir de 20-30 m.

Il est à noter que la modélisation des niveaux moyens annuels en NO₂ sur la zone d'étude ne prend pas ou peu en compte les sources locales. Ainsi, cette carte permet d'estimer la décroissance du NO₂ en fonction de l'éloignement à la rocade à titre indicatif.

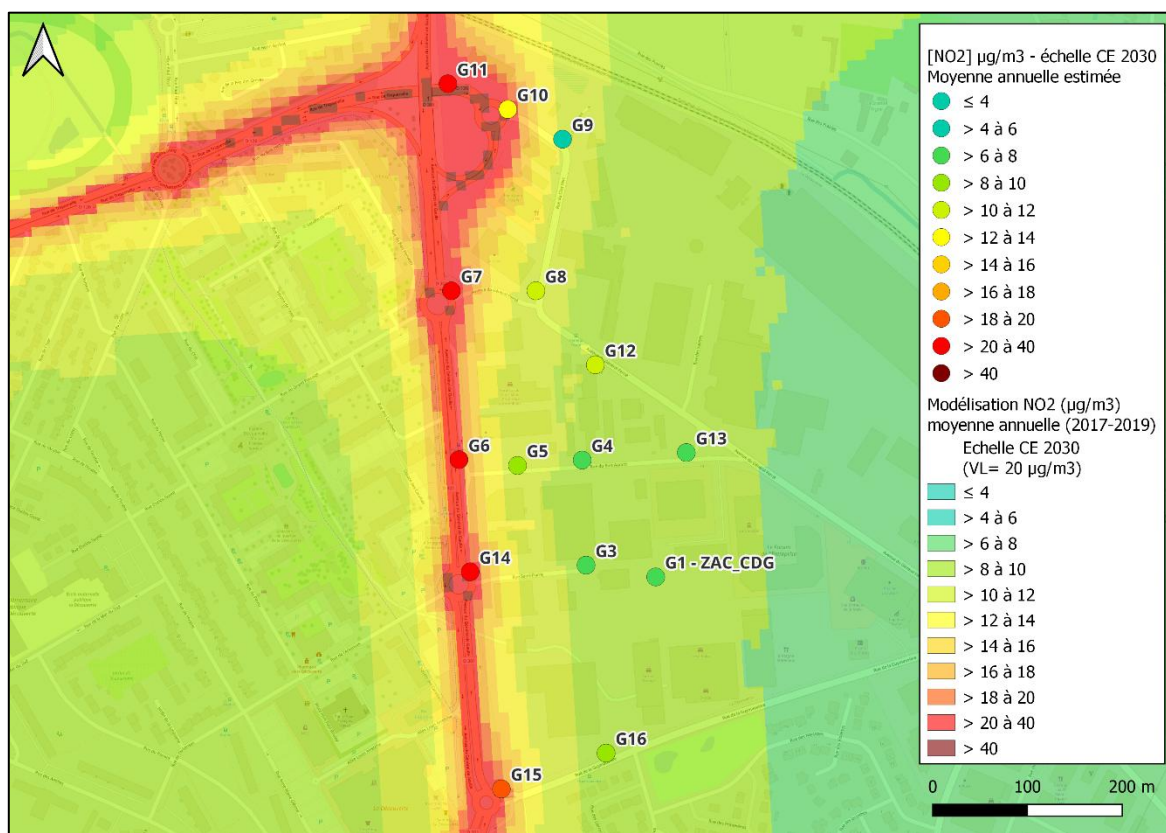


Figure 31 : Modélisation des moyennes annuelles en NO₂ sur la zone d'étude [Modélisation Air Breizh 2021] – échelle CE 2030

Analyses :

Les résultats des prélèvements de dioxyde d'azote par tube passif sont globalement proches des ceux de la modélisation.

Les tubes passifs ont été positionnés sous la forme de transects perpendiculaires à l'avenue Général de Gaulle. Les points de prélèvements les plus proches de l'axe routier dépassent l'objectif CE2030 (max 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) contrairement à la 1^{ère} série de points située à environ 50 mètres de l'axe routier, dont les niveaux sont bien inférieurs à ce seuil CE2030 (max 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

La modélisation permet alors de constater que dans cette bande de 50 mètres, la décroissance des niveaux de concentration n'est pas linéaire et plus importante dans les premières dizaines de mètre.

Pour préciser cette décroissance des niveaux et être en mesure d'adapter en conséquence le projet d'aménagement, des prélèvements à plus fine échelle pourrait être envisagés (tous les 10 mètres par exemple selon plusieurs transects disposés perpendiculairement à l'axe routier).