

“L’air est **essentiel** à chacun
et mérite l’**attention de tous**.”

ETUDE

Campagne de mesure de la qualité de l’air – Quartier Beauregard – Rennes (35)

Campagnes de mesure 2017

Rapport final – version du 31/08/2018



ORGANISME
DE MESURE, D'ÉTUDE
ET D'INFORMATION SUR
LA QUALITÉ DE L'AIR
EN BRETAGNE

Etude réalisée par Air Breizh

A la demande
de la société publique « Territoires » en charge de l'accompagnement de Rennes Métropole
dans la conduite de projets de développement et de renouvellement urbain.

Avertissement

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 1^{er} août 2016 pris par le Ministère de l'Environnement portant renouvellement de l'agrément de l'association.

A 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

Service Etudes (rédacteur)	Validation	Version/date
Mohamed HASSAN AHMED (Chargé d'études)	Gaël Lefeuvre (Directeur)	Version du 31/08/2018

Relecture externe

Relecteur	Version/dates
P. Clément (Territoires) Chef de projet	Version transmise le 31/08/2018

Sommaire

I. Contexte de l'étude	5
II. Présentation d'Air Breizh	6
II.1. Missions d'Air Breizh.....	6
II.2. Réseau de surveillance en continu	6
II.3. Moyens.....	7
III. Description de la zone d'étude	8
IV. Le dispositif mis en œuvre.....	9
IV.1. Polluants étudiés	9
IV.1.1 Les sources de pollution.....	10
IV.1.2 Réglementation	11
IV.2. Matériel et méthode de mesure.....	11
IV.2.1 Technique de mesure	11
IV.2.2 Calcul des concentrations	12
IV.2.3 Contrôle de la qualité des mesures par tube passif	12
IV.2.4 Choix des sites de mesure	12
IV.2.5 Dates des campagnes de mesure.....	14
IV.2.6 Limites de l'étude.....	14
V. Résultats et interprétations.....	15
V.1. Contrôle de la qualité des mesures.....	15
V.1.1 Vérification des blancs transport	15
V.1.2 Vérification de la répétabilité des échantillonneurs passifs.....	16
V.2. Contexte météorologique.....	17
V.2.1 La pluviométrie et la température	17
V.2.2 Direction et vitesse des vents durant les périodes de mesure	18
V.3. Données trafic sur la zone d'étude.....	19
V.4. Episode de pollution régionale.....	20
V.5. Présentation des résultats des mesures.....	20
V.5.1 Résultats bruts pour le dioxyde d'azote	20
V.5.2 Situation par rapport aux valeurs réglementaires.....	22
V.5.3 Résultats bruts pour le benzène.....	22
V.6. Etude de la répartition spatiale des concentrations en dioxyde d'azote	23
V.6.1 Cartographie des moyennes annuelles en dioxyde d'azote.....	24
V.6.2 Interpolation des concentrations moyennes sur l'ensemble de la zone d'étude	27
VI. Conclusions.....	29
Annexe I : Méthode de calcul des concentrations	30

Liste des figures

Figure 1: Implantation des stations de mesure d'Air Breizh (au 01/07/18)	7
Figure 2: Définition de la zone d'étude.....	8
Figure 3: Répartition des émissions de NOx, CO, PM10 et COVNM sur le territoire de Rennes Métropole [source : Inventaire des émissions 2014 v2.2].....	9
Figure 4 : Boîte contenant un tube à diffusion passive	11
Figure 5: Localisation des points de mesure	13
Figure 6: Température et précipitations durant les campagnes de mesure [source : Station Météo France de Saint-Jacques-de-la-Lande (35)]	17
Figure 7 : Roses des vents durant la campagne 1 (juin-juillet 2017) d'après les mesures de la station Météo France la plus proche (Saint-Jacques de la Lande).....	18
Figure 8: Normales des roses des vents relevées à Saint-Jacques pour le mois de juin entre 1981 et 2010 [Source : Météo France].....	18
Figure 9: Roses des vents durant la campagne 2 (novembre-décembre 2017) d'après les mesures de la station Météo France la plus proche (Saint-Jacques de la Lande).....	19
Figure 10: Normales des roses des vents relevées à Saint-Jacques pour le mois de novembre entre 1981 et 2010 [Source : Météo France]	19
Figure 11: Cumul du trafic sur la RN136 dans les deux sens de circulation	20
Figure 12: Résultats des concentrations moyennes en NO ₂ (µg/m ³) mesurées par site.....	22
Figure 13: Répartition des concentrations moyennes de NO ₂ mesurées sur l'ensemble des deux périodes.....	24
Figure 14: Zoom sur la décroissance des niveaux de NO ₂ en fonction de l'éloignement de la rocade	25
Figure 15: Profils topographiques des 4 transects définis sur la zone d'étude. [Source : Base de données topographiques au 200 ^{ème} (précision altimétrique) – Rennes Métropole].....	26
Figure 16: Interpolation des concentrations moyennes annuelles de NO ₂	28

Liste des tableaux

Tableau 1 : Pression de vapeur des BTEX [INERIS]	11
Tableau 2: : Valeurs de référence réglementaires pour le NO ₂ et le benzène	11
Tableau 3: Séries des prélèvements de la campagne printanière/estivale	14
Tableau 4: Séries des prélèvements de la campagne automnale/hivernale	14
Tableau 5: Résultats des mesures pour les blancs transports	15
Tableau 6: Résultats des mesures pour les blancs transports	15
Tableau 7: Résultats des calculs des écarts relatifs pour le NO ₂ concentrations en (µg/m ³) pour les deux campagnes de mesure.....	16
Tableau 8: Résultats des calculs des écarts relatifs pour le benzène concentrations en (µg/m ³) pour les deux campagnes de mesure	16
Tableau 9: Résultats des concentrations en dioxyde d'azote mesurées par tube passif (µg/m ³) ...	21
Tableau 10: Résultats des concentrations en benzène mesurées par tube passif (µg/m ³)	23

I. Contexte de l'étude

La société publique d'aménagement « Territoires » se questionne sur l'urbanisation future du quartier de Beauregard du fait de la proximité d'axes routiers très fréquentés, et donc sur les risques sanitaires liés à l'exposition des futurs occupants aux émissions atmosphériques liées à la circulation.

L'aménagement du quartier concerne les secteurs "Quincé" et "Saint-Malo" dont la construction est prévue à l'horizon 2025-2030.

Les axes routiers principalement identifiés sont la RN 136 (rocade de Rennes) et le boulevard de la Robiquette, et dans une moindre mesure du fait de son éloignement, la RD 137 (Route de Saint-Malo).

Dans ce cadre, la société Territoires a sollicité Air Breizh afin de réaliser une campagne de mesure de la qualité de l'air avant l'aménagement du quartier.

L'objectif de cette étude est de réaliser un diagnostic de la qualité de l'air en situation actuelle tout en intégrant dans le protocole d'échantillonnage et notamment dans la situation des points de mesure, l'aménagement projeté du quartier.

Cette campagne de mesure de la qualité de l'air a été suivie d'un travail d'interpolation des résultats dans le but de produire une cartographie des concentrations actuelles sur l'ensemble du quartier.

Le présent rapport présente le protocole et les résultats des campagnes de mesure réalisées en 2017.

II. Présentation 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 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.

II.1. Missions d'Air Breizh

- Surveiller les polluants urbains nocifs (SO₂, NO₂, CO, O₃, Métaux lourds, HAP, Benzène, PM10 et PM2.5) 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.

II.2. 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.

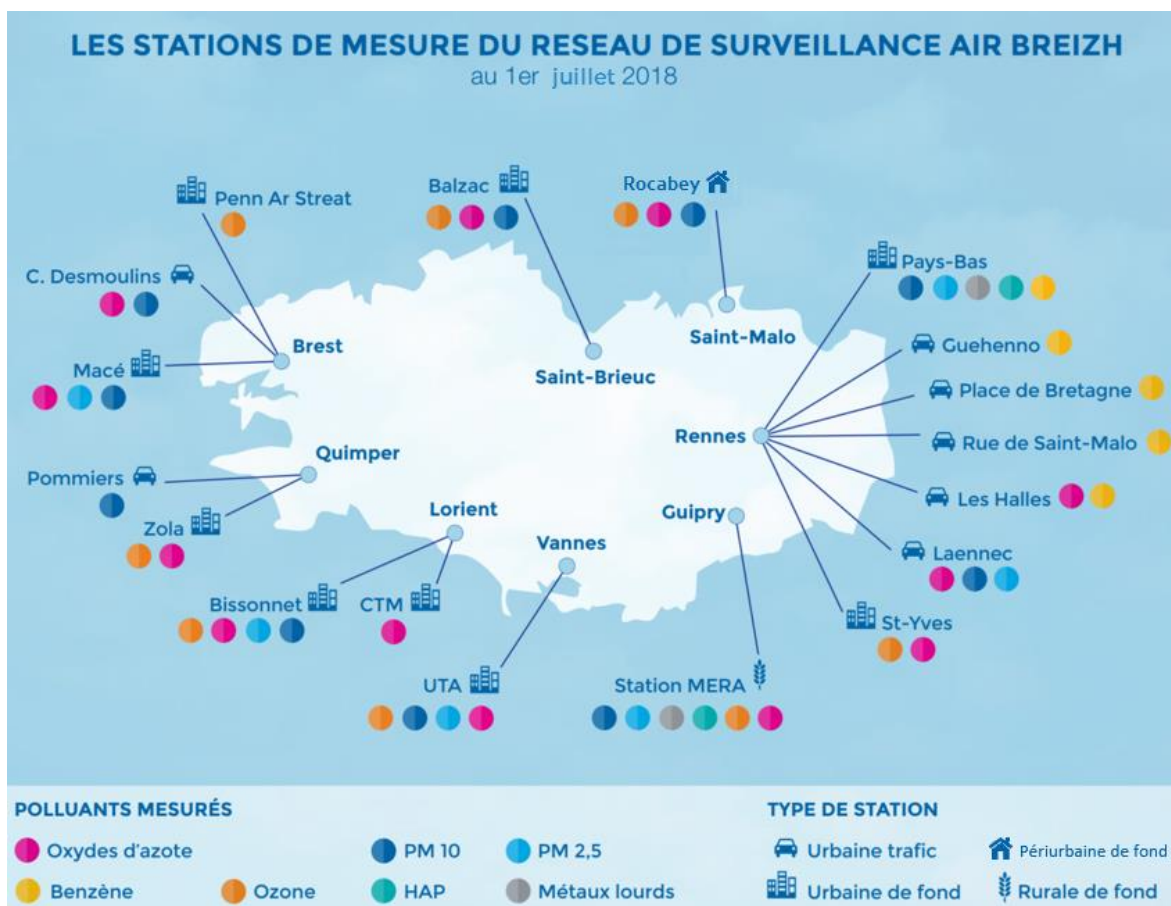


Figure 1: Implantation des stations de mesure d'Air Breizh (au 01/07/18)

II.3. Moyens

Afin de répondre aux missions qui lui incombent, Air Breizh compte onze salariés, et dispose d'un budget annuel de l'ordre d'1,4 million d'euros, financé par l'Etat, les collectivités locales, les émetteurs de substances polluantes, et des prestations d'intérêt général et produits divers.

III. Description de la zone d'étude

La zone d'étude couvre l'ensemble du quartier Beauregard, situé au Nord-Ouest de l'agglomération rennaise. Elle est représentée sur la figure ci-après.

Les données trafic (TMJA¹) des principales infrastructures routières à proximité de la zone d'étude sont également indiquées.



Figure 2: Définition de la zone d'étude

Les limites suivantes ont été retenues pour la définition de la zone d'étude :

- Au Nord-Ouest : la RN 136 (rocade) ;
- Au Sud, les limites Sud du parc Beauregard ;
- Au Sud-Est, l'avenue André Mussat et la rue Gabriel Germain ;
- Au Nord-Est, le boulevard de la Robiquette.

En termes de trafic, la rocade est de loin l'axe le plus fréquenté à proximité de la zone d'étude. Le trafic sur cet axe est dix fois supérieurs à ceux des axes limitant l'Est et le Sud-Est de la zone d'étude.

En 2014, Air Breizh avait réalisé dans le cadre du PPA une campagne complète de mesure de dioxyde d'azote sur l'ensemble de l'agglomération rennaise. Deux points parmi les cinquante investigués au total, se trouvaient dans la zone d'étude défini pour ce projet. Les résultats sont présentés sur la figure précédente.

Ces résultats étaient bien inférieurs à la valeur limite de 40 µg/m³ et notamment celui situé à proximité immédiate du boulevard de la Robiquette ce qui tendrait à montrer l'impact réduit de cet axe routier. **Notre attention a donc été portée majoritairement sur l'étude de l'impact du trafic de la rocade sur la zone d'étude.**

¹ Données comptage DIR OUEST (pour RN 136) et comptage ou modélisation Rennes Métropole (pour les autres axes routiers de la zone d'étude) – TMJA = Trafic Moyen Journalier Annuel

IV. Le dispositif mis en œuvre

IV.1. Polluants étudiés

Les travaux d'inventaire² menés par Air Breizh, notamment dans le cadre de la mise à jour du Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA) sur l'agglomération rennaise en 2014, montrent que le trafic routier est responsable de la majorité des émissions des oxydes d'azote (74%).

D'autres polluants sont toutefois émis mais de façon moins majoritaire par rapport aux autres sources (figure 3). Il s'agit notamment :

- du monoxyde de carbone (CO) (41%),
- des particules fines PM10 (40%),
- des composés organiques volatils non méthanique (COVNM) (9%).

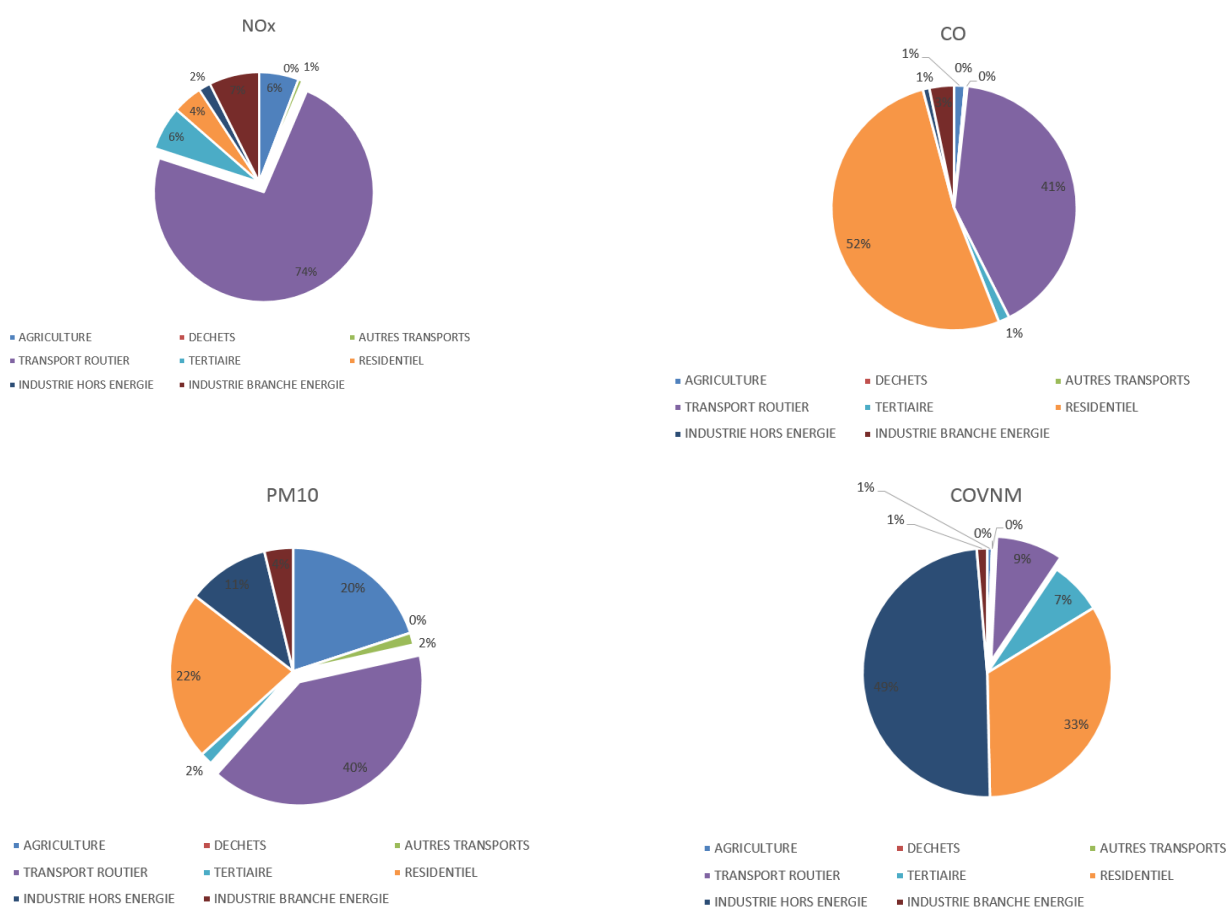


Figure 3: Répartition des émissions de NOx, CO, PM10 et COVNM sur le territoire de Rennes Métropole
[source : Inventaire des émissions 2014 v2.2]

Du fait de la forte contribution du transport dans les émissions de dioxyde d'azote, ce dernier a fait l'objet de mesure dans le cadre de cette étude.

Pour ce qui est des particules, notre expérience en termes de mesure confirme que ces dernières présentent des variations liées à un contexte régional plutôt que local (comme en témoigne les différences assez faibles de niveaux mesurés entre les différents types de stations à Rennes notamment). La multiplicité des sources d'émissions justifie ce constat.

² [Source : inventaire des émissions effectué par Air Breizh V2.2]

Pour cette raison, l'intérêt d'une cartographie des niveaux de particules sur la zone d'étude dans le cadre de cette problématique nous a semblé limité.

Concernant le monoxyde de carbone, les progrès technologiques sur les véhicules ont largement contribué à diminuer les niveaux mesurés. Air Breizh disposait de deux stations de mesure en continu en situation de proximité trafic (dite 'urbaine trafic') dans l'agglomération rennaise, situées au boulevard Laënnec et boulevard de la Liberté (les Halles). Ces stations ont été respectivement arrêtées en 2011 et 2013, du fait des niveaux largement inférieurs aux valeurs réglementaires.

Parmi les COV, au vu de la liste importante de composés, les BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes) sont considérés comme étant de bons indicateurs de la pollution urbaine, précisément induite par le trafic routier, et sont donc très souvent mesurés. Au sein de cette famille, le benzène dispose d'une valeur seuil réglementaire.

L'étude a donc porté sur la mesure du dioxyde d'azote et du benzène.

IV.1.1 Les sources de pollution

La majorité des polluants atmosphériques connaît un cycle saisonnier très marqué.

On distingue habituellement les polluants primaires des polluants secondaires. Les premiers sont émis par une source directement dans l'atmosphère, alors que les seconds proviennent de la transformation des polluants primaires suite à différentes réactions chimiques.

Certains polluants primaires (dont notamment les oxydes d'azote) présentent des concentrations hivernales plus importantes qu'en été, en raison notamment de conditions de stabilité de l'atmosphère plus fortes et d'une activité plus importante de sources telles que le chauffage.

a) Les oxydes d'azote

Les oxydes d'azote (NOx), dont la principale source est le trafic routier est également émis par tout processus de combustion à haute température (installations de combustion industrielle, le chauffage résidentiel etc.).

Les NOx sont définis sous deux formes chimiques, que sont le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO₂). Le monoxyde d'azote est un polluant primaire car celui-ci est émis directement par les différentes sources d'émissions de NOx. Quant au NO₂, il est en partie émis de manière directe, mais il résulte également de l'oxydation du monoxyde d'azote au contact de l'air.

En présence de certains constituants atmosphériques et sous l'effet du rayonnement solaire, les NOx sont également, en tant que précurseurs, une source importante de pollution photochimique.

b) Les BTEX dont le benzène

Les BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes) sont les hydrocarbures aromatiques monocycliques les plus présents dans l'atmosphère. Ces hydrocarbures sont des (COVNM), constitués d'atomes de carbone et d'hydrogène.

Les BTEX sont naturellement présents dans le pétrole. Ils entrent dans la composition des carburants légers et des solvants utilisés pour le dégraissage ou le nettoyage.

Le **benzène** est particulièrement utilisé comme additif dans l'essence sans plomb.

Le **toluène**, **l'éthylbenzène** et **les xylènes**, également présents dans le pétrole en concentrations toutefois moins importantes, entrent aussi dans la composition de nombreux produits (solvants, peintures, encres, adhésifs, agents de nettoyage).

Au sein de cette famille, les BTEX présentent des degrés de volatilisation différents comme illustré dans le tableau ci-après.

Tableau 1 : Pression de vapeur des BTEX [INERIS]

Composés	Pression de vapeur à 20°C (en Pa)
Benzène	10 032
Toluène	2 922
Ethylbenzène	944
Xylènes	663 à 863

Ainsi à 20°C, le benzène présente une volatilité bien supérieure à celles des autres composés.

IV.1.2 Réglementation

Lors de cette étude, les niveaux estimés de concentrations de polluants dans l'air sont comparés aux valeurs réglementaires que constituent les objectifs de qualité de l'air et les valeurs limites.

Les valeurs de références pour les polluants mesurés sont synthétisées dans le tableau suivant [source : article R221-1 du code de l'environnement].

Tableau 2: : Valeurs de référence réglementaires pour le NO₂ et le benzène

Composés	Valeurs limites	Objectifs qualité
Dioxyde d'azote (NO ₂)	En moyenne annuelle : 40 µg/m ³	En moyenne annuelle : 40 µg/m ³ .
Benzène	En moyenne annuelle : 5 µg/m ³	En moyenne annuelle : 2 µg/m ³

IV.2. Matériel et méthode de mesure

IV.2.1 Technique de mesure

Le dioxyde d'azote et le benzène ont été mesurés au moyen de **tubes à diffusion passive**. L'échantillonnage passif est une technique de mesure courante dans la surveillance de la qualité de l'air. Sa facilité de mise en œuvre et son faible coût permettent la réalisation de campagnes de mesure simultanées sur plusieurs sites ce qui répond totalement à la problématique.

Cette technique est basée sur le transfert de matière d'une zone à une autre (diffusion moléculaire, sans mouvement actif de l'air), sous l'effet d'un gradient de concentration. Le polluant est piégé sur un support imprégné d'une substance chimique adaptée à l'absorption des polluants recherchés.



Figure 4 : Boîte contenant un tube à diffusion passive

Les échantillonneurs passifs ont été exposés dans l'air ambiant pendant une période de 2 semaines, puis analysés ultérieurement par un laboratoire sous-traitant (laboratoire Air Parif). La concentration atmosphérique moyenne sur la période d'échantillonnage est calculée à partir de la masse piégée, à un débit d'échantillonnage et une durée d'exposition connus.

Remarque : L'échantillonnage par tube à diffusion ne fournit pas de données en temps réel, mais fait état d'une situation moyenne sur la durée d'exposition des tubes. Les élévations ponctuelles de concentrations ne sont donc pas observées.

IV.2.2 Calcul des concentrations

La méthode de calcul des concentrations, à partir des résultats du laboratoire d'analyse, est détaillée en annexe I.

IV.2.3 Contrôle de la qualité des mesures par tube passif

La qualité de la mesure a été contrôlée par la pose d'un doublon, sur l'un des points de mesure et l'analyse d'un échantillon témoin non exposé (blanc transport), qui permet de détecter une éventuelle contamination liée au transport, à la préparation ou stockage.

IV.2.4 Choix des sites de mesure

Pour apprécier la variabilité spatiale des niveaux de concentrations et également être en mesure d'apporter des éléments de réponse dans l'aménagement projeté de la zone d'étude, le protocole suivant a été adopté :

- Réalisation d'un maillage régulier de la zone avec des points de prélèvements distant de 150 m. Cette distance nous semble pertinente au vu de l'objectif à atteindre.
- Positionnement de la 1^{ère} ligne de prélèvements, parallèle à la rocade, à une distance correspondante à celle projetée entre la future implantation du bâtiment le plus proche et la rocade (25 à 30 mètres d'après les informations communiquées).
- Affinage de ce maillage à proximité immédiate des axes de circulation limitant le domaine d'étude, à savoir la rocade et le boulevard de la Robiquette.

Les points ont donc été rapprochés sur certains axes perpendiculaires aux voiries, en respectant une distance de 50 mètres dans les 1^{ères} mailles proches des axes routiers (0-150 m) puis 75 mètres de 150 à 300 m des axes routiers. Cette même logique a été reproduite le long du boulevard de la Robiquette.

La présence d'établissements sensibles (école, complexes sportifs etc...) a également été pris en compte pour le positionnement des points.

Au total, 47 sites de prélèvements ont été retenus en suivant ce protocole. Le plan suivant présente la situation de chacun de ces points.

Les tubes ont été disposés pour certains d'entre eux sur des poteaux existants quand cela était possible (poteaux de signalisation, d'éclairage, ...). A défaut, et notamment dans la zone non aménagée à ce jour, des tuteurs bois (ou similaires) ont été mis en place.



Figure 5: Localisation des points de mesure

IV.2.5 Dates des campagnes de mesure

Au vu de la variabilité saisonnière des niveaux et de manière à assurer une meilleure représentativité de la moyenne annuelle calculée pour chacun des polluants, deux périodes de mesure ont été réalisées à des saisons différentes.

Au total, 8 semaines de prélèvements ont été réalisées, ce qui correspond au taux de couverture temporelle minimale d'échantillonnage pour la détermination d'une moyenne annuelle selon les Directives Européennes 2008/50/CE et 2004/107/CE.

Ainsi deux campagnes de mesure de quatre semaines chacune ont été effectuées. Les dates de chacune de ces campagnes sont les suivantes :

Tableau 3: Séries des prélèvements de la campagne printanière/estivale

Période printanière/estivale	Dates
Série 1	Du 08/06 au 22/06/17
Série 2	Du 22/06 au 06/07/17

Tableau 4: Séries des prélèvements de la campagne automnale/hivernale

Période automnale/hivernale	Dates
Série 1	Du 10/11 au 24/11/17
Série 2	Du 24/11 au 08/12/17

IV.2.6 Limites de l'étude

Les campagnes de mesure réalisées ne sont représentatives que des périodes étudiées. En effet, les résultats sont tributaires des conditions météorologiques. Par conséquent, en aucun cas, ils ne peuvent être assimilés à une autre période ou à tout autre point de mesure autre que ceux en étude.

V. Résultats et interprétations

En préambule de la présentation des résultats et de leurs interprétations, sont analysés le contrôle qualité des mesures effectuées, le contexte météorologique ainsi que la survenue d'épisode de pollution au niveau départemental voire régional.

V.1. Contrôle de la qualité des mesures

Comme dit précédemment, un doublon de prélèvement et un blanc transport ont été réalisés lors de chaque série de mesure, lors de cette campagne, afin de vérifier la qualité des mesures réalisées.

V.1.1 Vérification des blancs transport

Pour l'ensemble des séries en période estivale et hivernale, les blancs sont tous inférieurs à la limite de détection du laboratoire pour le dioxyde d'azote.

Tableau 5: Résultats des mesures pour les blancs transports

Code tube	Masse en ng sur cartouche
blc.camp1.série1	<LQ
blc.camp1.série2	<LQ
blc.camp2.série3	<LQ
blc.camp2.série4	<LQ

En ce qui concerne le benzène, les blancs transports pour les deux campagnes de mesure sont tous proches ou inférieurs à la limite de quantification.

Tableau 6: Résultats des mesures pour les blancs transports

Code tube	Masse sur cartouche (ng)
blc.camp1.série1	23
blc.camp1.série2	20
blc.camp2.série3	<LQ
blc.camp2.série4	<LQ

En effet, les deux valeurs quantifiées lors des deux séries en campagne 1 restent inférieures à la valeur limite tolérée pour le benzène qui est de 40 ng (masse sur la cartouche)

Ces résultats garantissent donc l'absence de contamination des échantillons durant les opérations de transport, de conservation et de manipulation.

V.1.2 Vérification de la répétabilité des échantillonneurs passifs

Sur le site de mesure N°8 situé à l'extrémité Nord du boulevard de la Robiquette, les mesures des tubes ont été dupliquées pour chacun des paramètres. La précision de ces mesures est définie par la moyenne des écarts-relatifs (IERI) calculés pour chaque mesure dupliquée. L'écart relatif, en valeur absolue, pour chaque couple exposé est calculé d'après la formule suivante [source : synthèse de l'expérience acquise par les réseaux sur l'échantillonnage passif du NO₂ – Ecole des Mines de Douai mai 2000] :

$$\text{IERI (\%)} = ((M-mi)/M) \times 100$$

Avec :

M : la concentration moyenne de la série(en µg/m³)

mi : la concentration d'un tube (en µg/m³)

Tableau 7: Résultats des calculs des écarts relatifs pour le NO₂ concentrations en (µg/m³) pour les deux campagnes de mesure

	08/06_22/06	22/06_06/07		10/11_24/11	24/11_08/12
site 8	39	37	site 8	X*	56
<i>ER (%)</i>	4%	1%	<i>ER (%)</i>	X	1%
site 8db	42	38	site 8db	X	57
<i>ER (%)</i>	-4%	-1%	<i>ER (%)</i>	X	-1%
<i>moy</i>	41	37	<i>moy</i>	X	57
moyenne IERI	4%	1%	moyenne IERI	X	1%

*Le tube passif (NO₂) de la première série de mesure en campagne hivernale a été vandalisé.

Les résultats des calculs des écarts relatifs sont tous inférieurs à ±4% pour chacune des séries de mesure. Pour ce polluant, un critère maximum de 5% pour la reproductibilité est fixé dans la norme NF EN 16339. La répétabilité pour l'ensemble des séries de mesure est donc très **satisfaisante**.

De la même manière, les écarts relatifs pour le benzène ont été calculés et sont présentés dans le tableau ci-après.

Tableau 8: Résultats des calculs des écarts relatifs pour le benzène concentrations en (µg/m³) pour les deux campagnes de mesure

	08/06_22/06	22/06_06/07		10/11_24/11	22/06_06/07
site 8	0,6	0,7	site 8.1	X*	1,2
<i>ER (%)</i>	2%	-4%	<i>ER (%)</i>	X	-4%
site 8db	0,7	0,7	site 8db.1	X	1,1
<i>ER (%)</i>	-2%	4%	<i>ER (%)</i>	X	4%
<i>moy</i>	0,7	0,7	<i>moy</i>	X	1,1
moyenne IERI	2%	4%	moyenne IERI	X	4%

*Les tubes passifs (benzène) de la première série de mesure en campagne hivernale a été vandalisé.

Les résultats des calculs montrent des écarts tous inférieurs à ±4% comme pour le dioxyde d'azote. La répétabilité de la mesure du benzène est jugée également satisfaisante sur l'ensemble des deux campagnes.

V.2. Contexte météorologique

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 ambiant, il est donc important d'étudier les conditions météorologiques dans lesquelles les mesures des polluants ont été effectuées.

Afin de mieux interpréter les résultats des mesures, différents paramètres météorologiques ont fait l'objet d'un suivi pendant les deux campagnes. Ils sont issus de la station Météo France la plus proche des points de mesure, qui se trouve à Saint-Jacques de la Lande (35).

V.2.1 La pluviométrie et la température

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.

Le graphique ci-après présente le cumul des précipitations mensuelles et les températures moyennes mensuelles durant les mois de mesure en comparaison aux normales sur la même station Météo France à savoir celle de Saint-Jacques de la Lande.

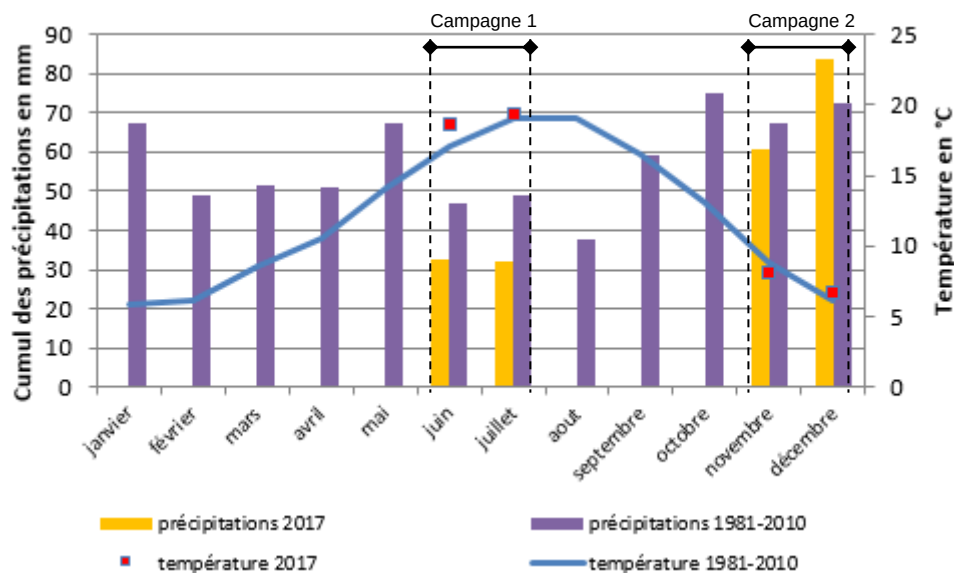


Figure 6: Température et précipitations durant les campagnes de mesure [source : Station Météo France de Saint-Jacques-de-la-Lande (35)]

Les températures moyennes relevées sur les deux campagnes de mesure sont très proches des normales saisonnières bien que celle du mois de juin soit légèrement supérieure à la normale pour ce mois (18,7°C contre en 2017 contre température normale de 17,1°C).

Concernant les précipitations, en campagne 1 (printanière/estivale), celles-ci ont été moins abondantes que les normales de Météo France avec des cumuls respectifs pour les mois juin et juillet de 33 mm et 32 mm contre 47 mm et 49 mm en normales saisonnières pour ces mêmes mois.

Durant la deuxième période de mesure (automnale/hivernale), les précipitations relevées sur le mois novembre sont également moins abondantes par rapport aux normales de Météo France (61 mm en 2017 contre 68 mm en normale). A l'inverse durant le deuxième mois de mesure, elles ont été plus abondantes avec un cumul de 84 mm contre 73 mm en normales saisonnières.

Cette analyse des données de précipitation et de température met en évidence que les campagnes de mesure ont un caractère plutôt pénalisant et donc défavorable à la dispersion des polluants, au vu des précipitations généralement inférieures aux normales voire même des températures plus élevées également (en période estivale notamment).

V.2.2 Direction et vitesse des vents durant les périodes de mesure

Les conditions de direction et vitesse du vent pendant une période sont souvent représentées par des roses des vents. Celle-ci permet de visualiser sur une période donnée :

- le pourcentage de vent pour chaque direction : ainsi plus la pâle 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 et leur occurrence : la couleur de chaque pâle indique la classe de vitesse et sa grandeur, le pourcentage de vent avec cette vitesse.

Ainsi par exemple, plus la pâle sera grande, plus les vents en provenance de cette direction seront fréquents (direction majoritaire) et au sein de cette pâle, plus les couleurs bleues seront foncées (ou orange pour la figure 8), plus les vents seront forts.

Les roses des vents de la station Météo France de Saint-Jacques de la Lande (35) réalisées sur les deux périodes de mesure et celles relevées entre 1981 et 2010 sur les mêmes périodes (dites normales des roses des vents) sont présentées ci-après.

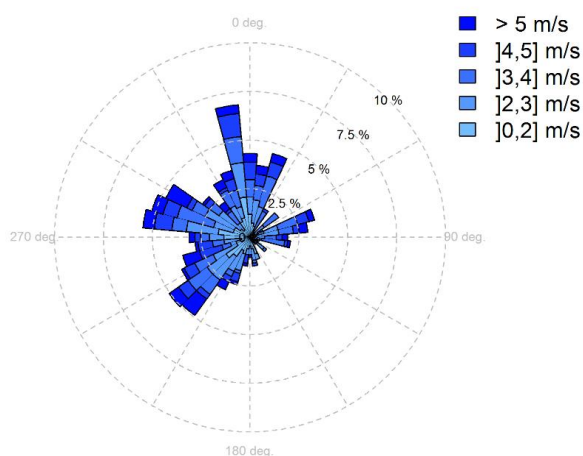


Figure 7 : Roses des vents durant la campagne 1 (juin-juillet 2017) d'après les mesures de la station Météo France la plus proche (Saint-Jacques de la Lande)

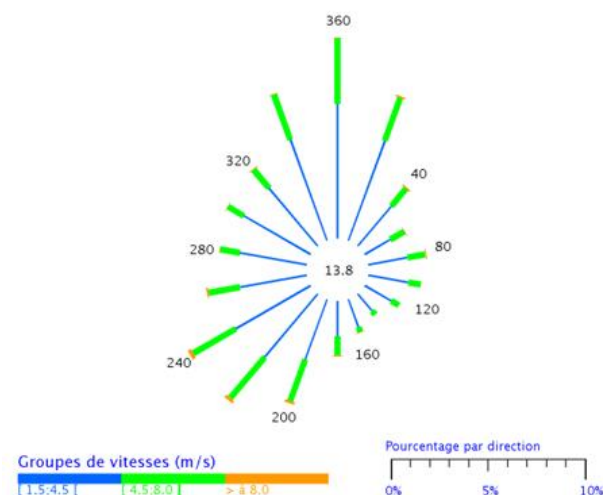


Figure 8: Normales des roses des vents relevées à Saint-Jacques pour le mois de juin entre 1981 et 2010 [Source : Météo France]

Cette rose des vents met en évidence des vents majoritairement issus **de Sud-Ouest et d'Ouest mais également quelques-uns de Nord.**

La normale des roses des vents ci-dessus, concernant les mois de juin, présente également des vents majoritaires issus de Sud-Ouest avec quelques vents issus du Nord.

De même, la rose des vents construite sur la base des données Météo France durant la deuxième campagne est présentée ci-après (à gauche).

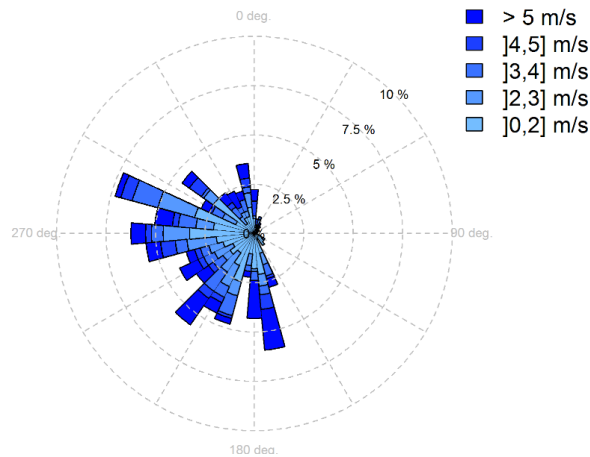


Figure 9: Roses des vents durant la campagne 2 (novembre-décembre 2017) d'après les mesures de la station Météo France la plus proche (Saint-Jacques de la Lande)

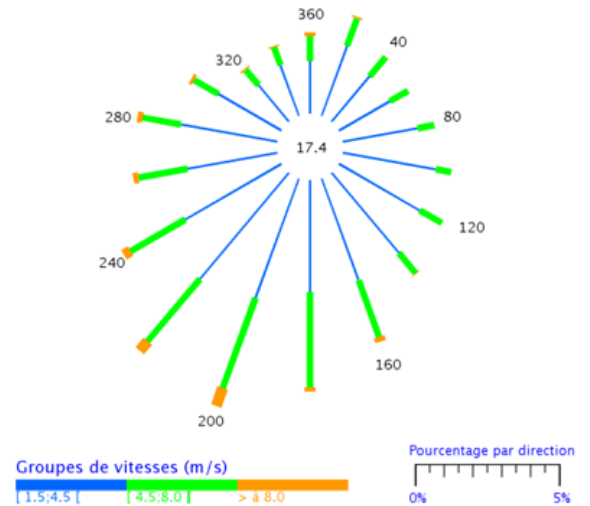


Figure 10: Normales des roses des vents relevées à Saint-Jacques pour le mois de novembre entre 1981 et 2010 [Source : Météo France]

Celle-ci montre que la majorité des vents en deuxième période de mesure était des vents d'Ouest et Sud, Sud-Ouest.

Les conditions de vents mesurées durant cette deuxième période sont conformes aux normales, comme le montre le profil des normales des roses des vents (figure 10). Celui-ci illustre également des vents majoritairement en provenance **d'Ouest à Sud-Ouest**.

Ainsi, cette analyse des roses des vents sur les deux campagnes de mesure révèle que les conditions des vents rencontrées sur chacune des campagnes sont similaires aux conditions normales sur les mêmes périodes.

Les périodes retenues pour cette étude sont donc jugées représentatives des conditions locales habituelles.

V.3. Données trafic sur la zone d'étude

Le principal axe routier de la zone d'étude est la rocade (RN136) se trouvant au Nord-Ouest de Rennes. Les données trafic de cette dernière sur les deux périodes de mesure sont présentés ci-après. Le but de ce chapitre est de comparer ces données afin de caractériser les différences entre les saisons ainsi qu'entre les deux séries d'une même campagne de mesure. Ces données sont issues de la station de comptage la plus proche se trouvant sur la nationale 136 au niveau du lieu-dit Quincé³ et nous ont été communiquées par la Direction interdépartementale (DIR) Ouest.

Ainsi, les cumuls du trafic (poids lourds + véhicules légers) par série de prélèvement et par campagne sont présentés sur le graphique ci-après. Ces cumuls concernent les deux sens de circulation de cet axe routier.

³ Référence station de comptage : 12-13 QUINCE ind

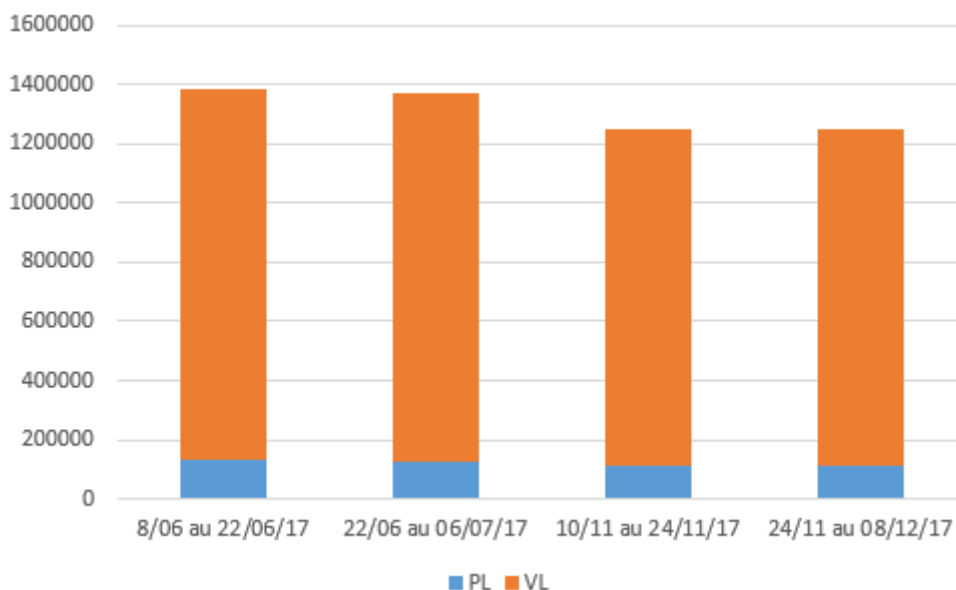


Figure 11: Cumul du trafic sur la RN136 dans les deux sens de circulation

Nous observons que les cumuls sont globalement proches entre les séries pour chacune des campagnes, témoignant donc de la constance du trafic routier pour chacune de ces séries pour les deux saisons de mesure. A noter que pour les deux campagnes les véhicules légers présentent la majeure partie du trafic (90%).

En revanche, le profil des cumuls entre les saisons est différent. En effet, nous constatons que le trafic est légèrement plus élevé en période estivale en cumul, par rapport à la période hivernale. Cette fréquentation plus élevée en période estivale pourrait s'expliquer notamment par les grands départs/retours de vacances.

Les trafics moyens journaliers ont été respectivement de l'ordre de 95 350 et 86 770 durant les campagnes estivale et hivernale.

V.4. Episode de pollution régionale

Aucun épisode de pollution n'a été enregistré sur les deux périodes de mesure que ce soit au niveau de l'agglomération comme plus largement au niveau régional.

V.5. Présentation des résultats des mesures

V.5.1 Résultats bruts pour le dioxyde d'azote

Les résultats des mesures du dioxyde d'azote par tubes passifs sont présentés dans le tableau ci-après. Ceux-ci sont obtenus en moyennant chacune des séries de mesure pour chaque période (estivale et hivernale). De plus, les huit semaines de mesure sont prises en compte et les résultats obtenus sont moyennés pour chacun des sites afin d'avoir une estimation de la moyenne annuelle. Pour ce polluant une cartographie des résultats sera présentée par la suite.

Tableau 9: Résultats des concentrations en dioxyde d'azote mesurées par tube passif ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Concentration
supérieure à
l'objectif qualité (et
valeur limite) de 40
 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne
annuelle

Emplacement carte	Moyenne campagne été	Moyenne campagne hiver	Moyenne annuelle estimée
P1	31	49	40
P2	30	51	40
P3	35	49	42
P4	34	45	39
P5	37	46	41
P6	31	45	38
P7	28	43	35
P8	38	56	47
P9	31	42	37
P10	24	40	32
P11	17	31	24
P12	16	39	27
P13	14	33	24
P14	13	28	20
P15	15	30	22
P16	20	30	25
P17	19	30	24
P18	12	21	16
P19	13	23	18
P20	13	25	19
P21	11	23	17
P22	13	28	20
P23	15	27	21
P24	15	34	25
P25	18	36	27
P26	13	31	22
P27	14	21	17
P28	17	30	24
P29	21	35	28
P30	12	29	21
P31	12	29	21
P32	11	26	19
P33	13	30	22
P34	14	32	23
P35	11	26	19
P36	12	28	20
P37	tubes vandalisés	13	
P38	15	31	23
P39	18	29	23
P40	22	40	31
P41	15	31	23
P42	14	31	23
P43	18	35	27
P44	11	27	19
P45	23	39	31
P46	19	38	28
P47	17	38	28

D'après ces résultats, pour chacun des points de mesure les concentrations en dioxyde d'azote relevées en période hivernale sont plus élevées que celles mesurées en période estivale. Il s'agit d'une particularité saisonnière de ce polluant. En effet, le cycle annuel moyen du NO_2 met en évidence des niveaux plus élevés en hiver qu'en période estivale. Ces variations sont principalement dues à deux phénomènes : des émissions qui sont plus importantes en hiver (chauffage résidentiel et tertiaire, production d'énergie etc...) et les conditions dispersives de l'atmosphère moins favorables en période hivernale.

V.5.2 Situation par rapport aux valeurs réglementaires

Le graphique suivant présente les résultats de concentrations moyennes mesurées pour l'ensemble de sites et par ordre croissant des résultats.



Figure 12: Résultats des concentrations moyennes en NO₂ (µg/m³) mesurées par site

Les concentrations moyennes annuelles s'échelonnent de 16 à 47 µg/m³ sur l'ensemble de la zone d'étude.

La grande majorité des sites a des concentrations inférieures à la valeur limite annuelle fixée à 40 µg/m³ pour le dioxyde d'azote. Les concentrations mesurées sur ces sites varient de 16 à 32 µg/m³.

Pour les sites se trouvant dans **la zone à proximité immédiate** de la RN 136 (rocade) et du boulevard de la Robiquette, les valeurs relevées sont plus fortes et sont comprises entre 35 et 47 µg/m³. De plus, 3 d'entre eux présentent des concentrations moyennes supérieures à la valeur limite.

La valeur maximale en moyenne sur les deux campagnes, des concentrations en NO₂, est **de 47 µg/m³**, au niveau du point 8 situé à l'extrémité Nord du boulevard de la Robiquette. Ce résultat pourrait s'expliquer par l'influence cumulée de la rocade et du boulevard de la Robiquette sur ce point, au vu de son emplacement.

V.5.3 Résultats bruts pour le benzène

Le benzène n'a pas été mesuré sur l'ensemble des 47 sites de mesure définis précédemment, contrairement au NO₂. Ce dernier a été mesuré sur 24 des 47 sites retenus dans le plan d'échantillonnage de l'étude.

De la même manière que pour le dioxyde d'azote les résultats de mesure également effectuées par tubes passifs sont présentés dans le tableau ci-après. La méthodologie de calculs des concentrations moyennes pour chaque période de mesure est la même que pour le NO₂.

Tableau 10: Résultats des concentrations en benzène mesurées par tube passif ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Emplacement carte	Moyenne campagne été	Moyenne campagne hiver	Moyenne annuelle estimée
P1	0,7	0,7	0,7
P2	0,6	0,7	0,7
P3	0,7	0,7	0,7
P4	0,6	0,7	0,7
P5	0,8	0,9	0,9
P6	0,8	1,0	0,9
P8	0,7	1,2	0,9
P9	0,7	1,1	0,9
P10	0,7	0,9	0,8
P11	0,7	0,7	0,7
P12	0,6	0,7	0,7
P17	0,6	1,0	0,8
P24	0,4	0,8	0,6
P25	0,6	0,9	0,7
P26	0,6	0,8	0,7
P27	0,5	0,6	0,5
P29	0,6	0,9	0,8
P35	0,6	0,8	0,7
P37		0,7	
P38	0,7	1,0	0,8
P40	0,6	1,2	0,9
P43	0,8	1,1	1,0
P47	0,8	1,1	0,9
P46	0,8	1,1	0,9

Tous les sites qui ont fait l'objet de mesure du benzène présentent des concentrations moyennes sur les deux périodes, **inférieures** aux valeurs de référence réglementaires que constituent l'objectif qualité ($2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) et la valeur limite ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en moyenne annuelle.

Ces résultats révèlent également, que sur l'ensemble des deux campagnes, les concentrations en benzène sont peu variables entre elles pour tous les sites de mesure. En effet, les valeurs moyennes pour les deux campagnes sont comprises entre 0,5 et $1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

A titre de comparaison, ces niveaux de concentrations relevés sur tous les points restent inférieurs aux concentrations mesurées sur le site urbain de fond et les quatre sites urbains trafics à Rennes dans le cadre du suivi réglementaire du benzène, sur l'année 2017. Les concentrations mesurées dans le cadre de ce suivi sont comprises 0,7 (pour le site urbain de fond) et $1,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (le maximum pour les sites urbains trafics). La configuration de la zone d'étude qui est sur un espace ouvert et la forte volatilité de ce polluant pourraient expliquer ces résultats faibles et proches entre eux.

V.6. Etude de la répartition spatiale des concentrations en dioxyde d'azote

Au vu des concentrations peu élevées et la faible variabilité des résultats pour le benzène, l'intérêt de cartographier les niveaux mesurés pour ce polluant nous a semblé limité.

V.6.1 Cartographie des moyennes annuelles en dioxyde d'azote

La répartition des concentrations moyennes en dioxyde d'azote obtenus pour les deux périodes de mesure, sur l'ensemble de la zone d'étude, est présentée sur la figure ci-après.

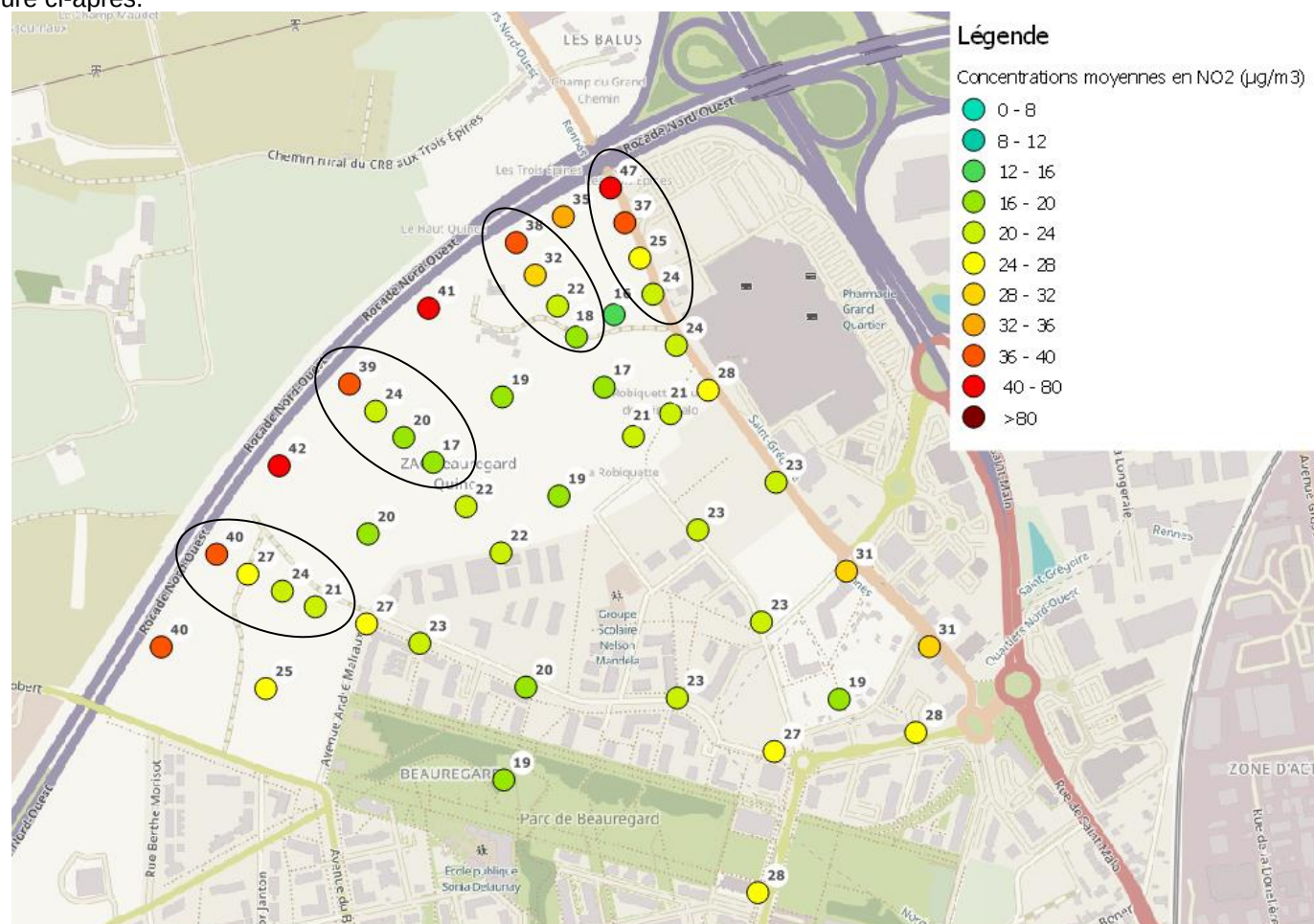


Figure 13: Répartition des concentrations moyennes de NO₂ mesurées sur l'ensemble des deux périodes

Sur cette représentation spatiale, nous observons une décroissance des concentrations en NO_2 , sur l'ensemble des points de mesure placés perpendiculairement à la rocade Nord-Ouest, en fonction de l'éloignement de cette dernière.

Les concentrations les plus fortes sont relevées sur les points situés à proximité de la rocade (entre **35 et 47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** en moyenne annuelle). Ceux-ci sont à une distance de 25 à 30 mètres de cet axe routier. A noter également que sur l'ensemble des résultats les 3 moyennes annuelles ayant dépassé la valeur limite retenue pour le dioxyde d'azote ont été relevées sur ces points situés parallèlement à la RN 136.

Afin de mieux caractériser cette décroissance des niveaux de dioxyde d'azote, nous avons définis 4 grands axes formant des transects perpendiculaires à la rocade (points entourés sur la figure 13). Ainsi, le transect 1 est le premier axe entouré (en partant du bas) sur la figure 13 et ainsi de suite jusqu'au transect 4 qui est l'axe se situant le long du boulevard de la Robiquette.

Les concentrations mesurées sur ces points de prélèvements ont été comparées comme nous pouvons le voir sur la figure ci-après.

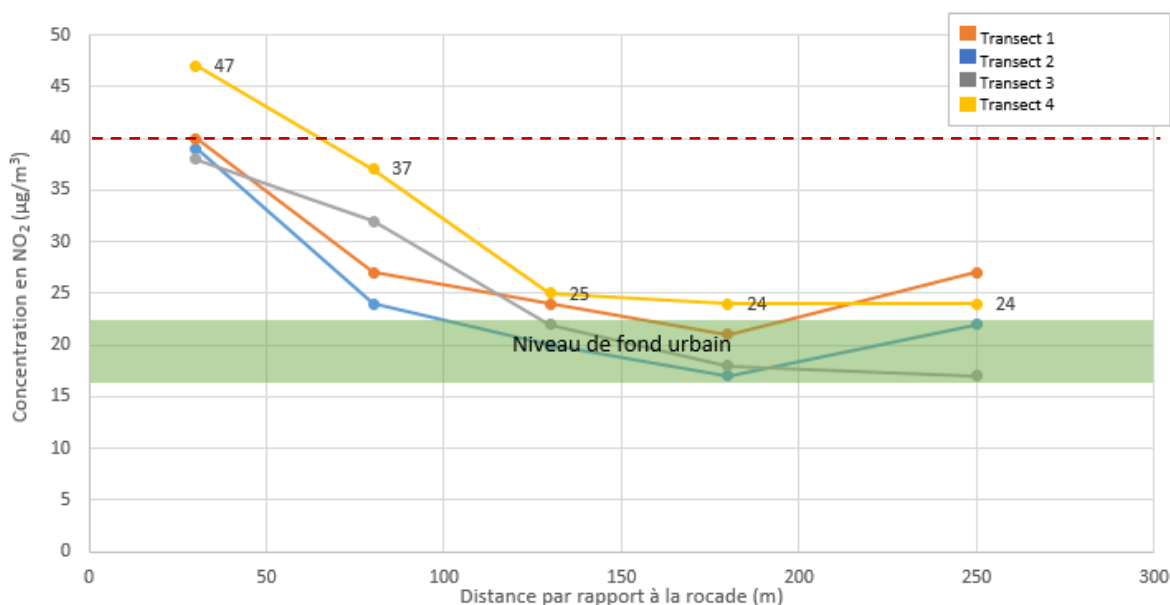


Figure 14: Zoom sur la décroissance des niveaux de NO_2 en fonction de l'éloignement de la rocade

Celles-ci démontrent qu'au-delà de 50 mètres de la rocade il n'y a pas de dépassement de la valeur limite annuelle fixée pour le dioxyde d'azote.

Nous remarquons également, que cette décroissance des niveaux se poursuit le long des transects perpendiculaires à la rocade, jusqu'à atteindre un niveau de fond, qui serait entre 17 et 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle. Ce niveau de fond serait atteint à une distance comprise entre **130 et 180 mètres de la rocade**. Les sites de fond urbains, présentant des concentrations plus élevées, par rapport aux points ayant la même typologie, se trouvent généralement non loin des axes routiers au sein de la zone d'étude. Toutefois, la différence de concentrations entre les sites de fond urbain est de l'ordre de 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ au maximum, et est donc jugée faible au vu de l'incertitude de la mesure par tubes passifs (30%).

A l'inverse, les sites qui possèdent les concentrations les plus faibles, correspondent à des emplacements éloignés des voies de circulation bénéficiant d'une bonne dispersion (parc Beauregard par exemple...).

D'autre part, après avoir étudié l'impact de la distance à la rocade sur les niveaux de concentrations, nous étudions par la suite l'influence de la topographie de chacun des points pour les 4 transects définis ci-dessus.

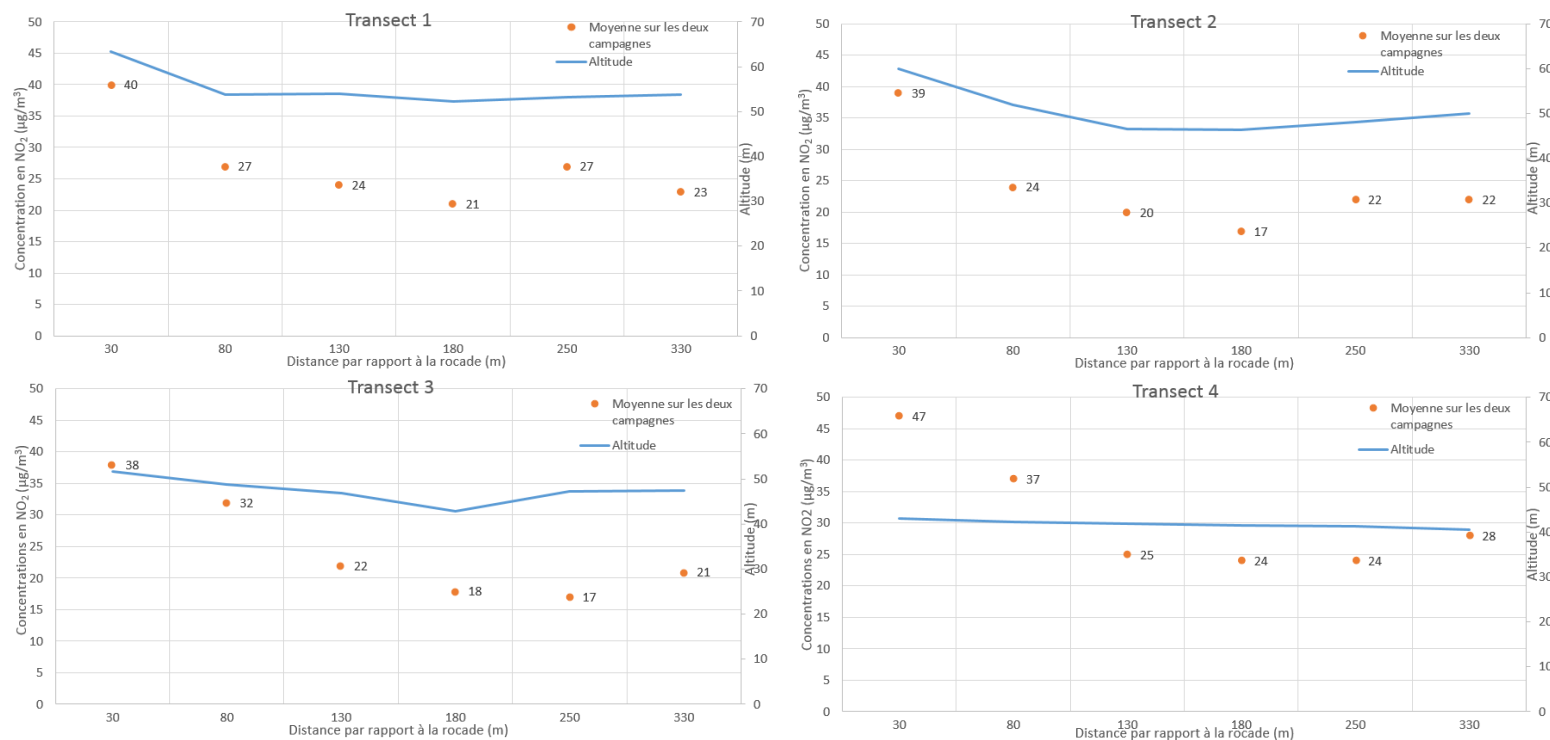


Figure 15: Profils topographiques des 4 transects définis sur la zone d'étude. [Source : Base de données topographiques au 200^{ème} (précision altimétrique) – Rennes Métropole]

D'après ces profils nous pouvons remarquer que les points de mesure possèdent une topographie peu variée : de l'ordre de quelques mètres. Le transect 4 (proche du boulevard de la Robiquette) ne présente pas de différence de niveau topographique contrairement aux 3 autres.

Malgré des profils topographiques différents en fonction des transects, les niveaux de concentrations varient de la même manière. Ce constat semblerait indiquer que la topographie influence de manière peu significative les niveaux de concentrations.

La distance serait le principal facteur d'abattement des concentrations.

En outre, de légères variations entre les concentrations des points se trouvant sur la même ligne parallèlement à la rocade ont été observées. Bien que ces points soient éloignés de la même distance par rapport à la rocade, ces variations pourraient plutôt être dues aux différences de typologie de leur environnement proche (présence de talus, végétation, etc...) qu'il peut y avoir entre eux. Cependant, cette différence de l'ordre de quelques microgrammes et jugée non significative.

V.6.2 Interpolation des concentrations moyennes sur l'ensemble de la zone d'étude

Afin de caractériser au mieux les niveaux de concentrations annuelles estimées sur chacun des points de la zone d'étude, les résultats présentés dans le chapitre précédent ont été interpolés. Ce travail d'interpolation, réalisé à l'aide de l'outil QGIS qui est un logiciel de Système d'Information Géographique (SIG) a permis de cartographier les concentrations actuelles sur l'ensemble du quartier.

A noter qu'il s'agit d'une interpolation linéaire faite à partir des mesures effectuées par diffusion passive dont les résultats ont été présentés ci-dessus. Cette dernière est représentée à titre indicatif afin d'avoir une première caractérisation des niveaux de dioxyde d'azote et ainsi répondre à l'objectif de cette étude.

La carte obtenue par interpolation est présentée sur la figure ci-après.

Ainsi, nous observons sur cette carte d'interpolation que les plus fortes concentrations de la zone de l'étude sont relevées sur les points à proximité de la rocade (25 m). Sur ces zones, un risque de dépassement de la valeur limite annuelle fixée pour le dioxyde d'azote a été démontré.

Dans une moindre mesure, les autres points présentant des concentrations élevées sont ceux placés dans des zones sous influence du trafic des différents axes routiers (Boulevard de la Robiquette par exemple).

Comme constaté dans le chapitre précédent, les niveaux les plus faibles sont mesurés logiquement dans des zones loin de l'influence trafic sur cette distribution spatiale des concentrations.

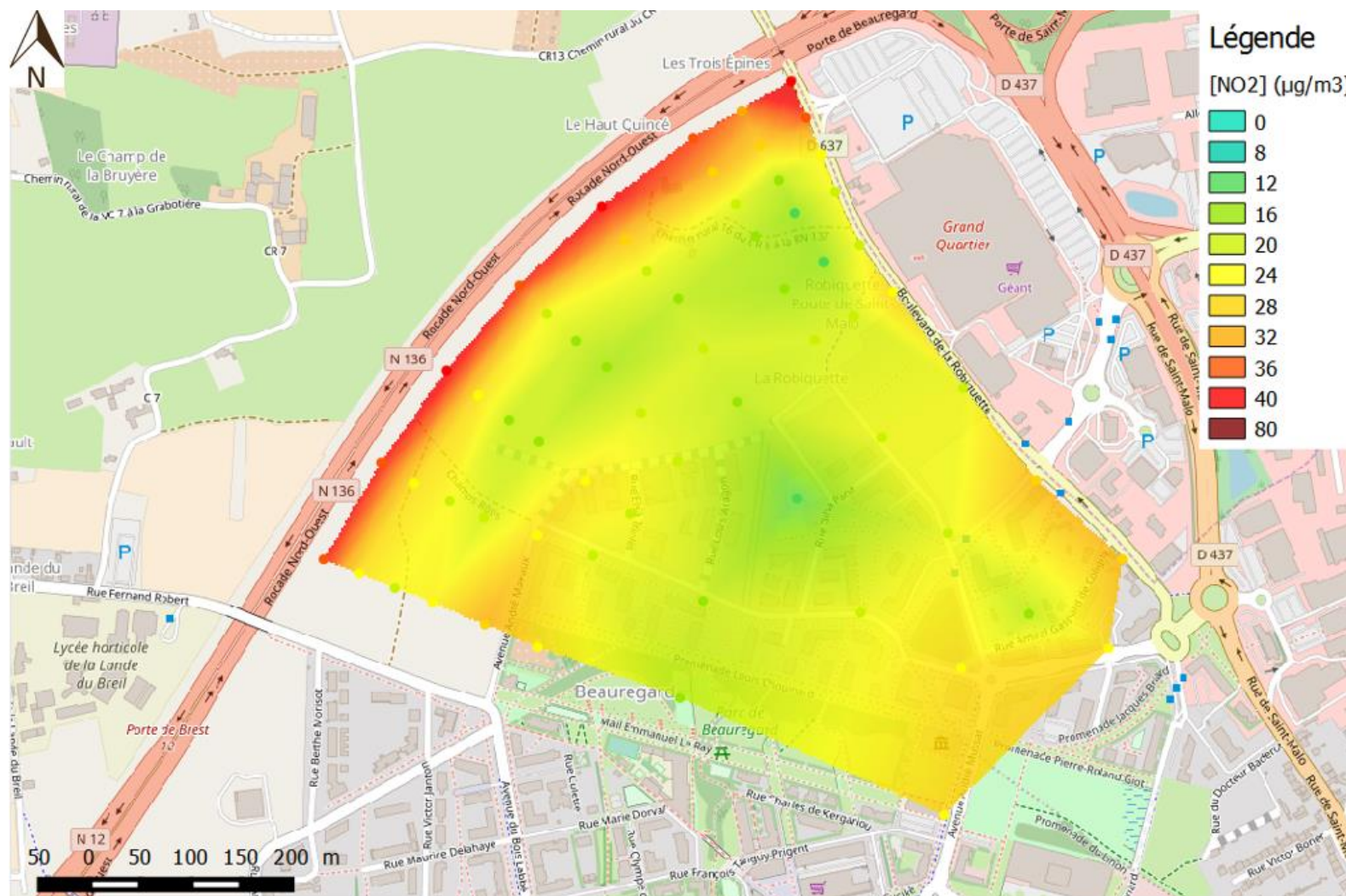


Figure 16: Interpolation des concentrations moyennes annuelles de NO₂

VI. Conclusions

Cette étude avait pour objectif d'évaluer la qualité de l'air sur le secteur de Beauregard-Quincé. Dans le cadre de l'urbanisation future du quartier, ces mesures ont pour objectif d'apprécier au mieux les éventuels risques sanitaires liés à l'exposition des futurs occupants aux émissions routières.

Pour répondre à cet objectif deux campagnes de mesure à deux saisons différentes ont été réalisées par Air Breizh en juin-juillet et novembre-décembre 2017 sur 47 points répartis sur l'ensemble du secteur. Ces campagnes réparties sur deux saisons différentes ont permis d'estimer une concentration moyenne annuelle des niveaux de dioxyde d'azote et de benzène qui sont les deux polluants jugés traceurs des émissions trafic.

Les mesures ont été relevées à l'aide de tubes à diffusion passive qui constituent le moyen le plus utilisé, à ce jour, pour étudier la répartition spatiale des polluants.

D'après les résultats, les concentrations moyennes annuelles sont comprises entre **16 et 47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** sur l'ensemble de la zone d'étude pour le dioxyde d'azote et entre **0,5 et 1,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** pour le benzène.

Concernant le benzène, les concentrations moyennes annuelles relevées sur tous les points du secteur d'étude sont inférieures aux valeurs de référence réglementaires, que constituent l'objectif qualité ($2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) et la valeur limite ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Par ailleurs, les niveaux mesurés pour ce polluant sur l'ensemble des deux campagnes, sont proches et peu variables entre eux pour tous les sites de mesure. Ce constat pourrait s'expliquer par la configuration de la zone d'étude qui est un espace ouvert et par la forte volatilité de ce polluant.

Pour le dioxyde d'azote les résultats des concentrations moyennes annuelles ont montré que :

1. La valeur limite annuelle a été dépassée sur 3 sites. Ces derniers sont tous localisés sur la première ligne de prélèvement située entre 25 et 30 mètres de la rocade. D'une manière générale, les valeurs de concentrations les plus fortes sont celles situées à proximité immédiate des principaux axes routiers en particulier la rocade Nord-Ouest. Sur ces zones, un dépassement de la valeur limite annuelle fixée pour le dioxyde d'azote est dépassée.

2. D'après les mesures, nous observons également une décroissance des niveaux de NO_2 en fonction de l'éloignement des grands axes routiers et surtout de la rocade. Cette décroissance se poursuit jusqu'à atteindre un niveau de fond situé entre 17 et 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle. Ce niveau de fond est atteint à une distance comprise entre 130 et 180 mètres de la rocade. Au-delà de 180 mètres les niveaux ré-augmentent mais d'une manière peu significative. Cette augmentation des niveaux est due aux différentes voies de circulation (telle que l'Avenue André Mussa) donnant accès aux différentes zones résidentielles. Cependant, malgré cette augmentation les moyennes annuelles restent en dessous de la valeur limite annuelle.

Le travail d'interpolation effectué lors de cette étude a permis d'illustrer le diagnostic de la qualité de l'air effectué grâce aux mesures par les tubes à diffusion passive, **à savoir l'impact des différents axes routiers mais surtout de la rocade Nord-Ouest sur les niveaux de concentrations en NO_2 .**

Celle-ci permet donc de répondre à l'objectif de l'étude en permettant de cartographier les niveaux des concentrations actuelles.

Annexe I : Méthode de calcul des concentrations

1) BTEX – Radiello code 145

a. Calcul du débit d'échantillonnage

Les débits d'échantillonnages ($D_{éch}$) sont calculés à l'aide des formules suivantes en fonction du temps d'exposition des tubes et de la température lors des prélèvements.

Durée	7 jours (jusqu'à 8.1 jours)	14 jours
Benzène	$31.424 - 0.178T$	24,9
Toluène	$28.6 - 0.075C + 0.03T$	27,9
Ethylbenzène	$23.5 - 0.48C + 0.11T$	25,2
MP-Xylène	$20.8 - 0.18C + 0.1T$	23,5
O-Xylène	$21.4 - 0.4C + 0.11T$	22,2

T : température moyenne sur la période d'exposition en °C
 C : concentration sur la période d'exposition en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Limites d'utilisation du débit d'échantillonnage modélisé sur 7 jours :

Température moyenne d'exposition comprise entre 5 et 30°C.

Concentrations limites : Toluène : $30\mu\text{g}/\text{m}^3$, Ethylbenzène : $7.5\mu\text{g}/\text{m}^3$, M+P-Xylène : $15\mu\text{g}/\text{m}^3$, O-Xylène : $9\mu\text{g}/\text{m}^3$

Au delà de ces valeurs, le débit d'échantillonnage est calculé avec la valeur limite

La formule pour le benzène n'est valable que pour des concentrations comprises entre 2 et 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Cas particulier :

Les débits utilisés par la FSM pour les calculs des concentrations sont les suivants. Ils sont calculés à une température de 25°C [source : Radiello].

Composé	Débit en ml/min à 25°C (Q_{298})
Benzène	27.8 (pour 7 jours) et 26.8 (pour 14 jours)
Toluène	30.0 (jusqu'à 14 jours)
Ethylbenzène	25.7 (jusqu'à 14 jours)
MP-Xylène	26.6 (jusqu'à 14 jours)
O-Xylène	24.6 (jusqu'à 14 jours)

Ces débits doivent être corrigés en fonction de la température mesurée lors des prélèvements comme suit [source : Radiello].

$$D_{éch} = Q_{298} \left(\frac{K}{298} \right)^{1.5}$$

Avec :

K : température réelle en Kelvin ($1^\circ\text{C} = 273\text{K}$)

Q_{298} : Débit d'échantillonnage FSM à 25°C

b. Calcul de la concentration dans les conditions de prélèvements

$$C = \frac{(m_{\text{éch}}) \times 10^3}{D_{\text{éch}} \times t}$$

C : Concentration du composé (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

$m_{\text{éch}}$: masse de composé échantillonnée sur la cartouche (en ng)

$D_{\text{éch}}$: débit d'échantillonnage corrigé du composé (en mL/min ou cm^3/min)

t : durée d'exposition (en minutes)

Prise en compte des blancs de terrain :

- Air ambiant extérieur : ☐ oui ☒ non Source : Guide LCSQA BTEX Air Ambiant – Nov. 2014

Prise en compte des blancs de lot :

- Air ambiant extérieur : ☐ oui ☒ non doit être < à 25 ng [Source Guide LCSQA BTEX 2014]

c. Calcul de la concentration standardisée

Dans l'expression finale du résultat et selon l'objectif de l'étude, la concentration en benzène doit être ramenée aux conditions standard de pression et de température, à savoir 101.3 kPa et 20°C (293K) [source : LCSQA BTEX Air Ambiant – Nov. 2014].

$$C_{P,T} = C \times \frac{101,3}{P_{\text{atm}}} \times \frac{\bar{T}}{293}$$

$C_{P,T}$: concentration massique standardisée du composé en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

C : concentration massique du composé aux conditions d'exposition en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

P_{atm} : pression atmosphérique moyenne de la période de prélèvement en kPa

T : température moyenne de la période de prélèvement en Kelvin

Standardisation des résultats :

- Air ambiant extérieur : ☒ oui ☐ non Source : Guide LCSQA BTEX Air Ambiant – Nov. 2014

FSM ne standardise pas les résultats.

2) NO₂ – Tubes PASSAM (sans membrane)

a. Calcul du débit d'échantillonnage

Le débit d'échantillonnage déterminé à 20°C est de 0.9017 ml/min [source : PASSAM].

Ce débit d'échantillonnage doit être corrigé en fonction de la température moyenne lors des prélèvements comme suit [source : Review of the application of diffusive samplers for the measurement of nitrogen dioxide in ambient air - EUR 23793 EN - 2009] :

$$D_{\text{éch}} = D_{20} \times \left(\frac{\bar{T} + 273}{293} \right)^{1.5}$$

Avec

T : température réelle en Kelvin (1°C = 273K)

D_{20} : Débit d'échantillonnage à 20°C (0.9017 ml/min)

Cas particulier : calcul des concentrations par PASSAM

Le débit utilisé par PASSAM est de 0.8536 ml/min, déterminé à 9°C.

La concentration calculée par le laboratoire, doit donc être corrigée d'après le débit d'échantillonnage réel, déterminé d'après la formule ci-dessus.

La concentration dans les conditions de prélèvements est ensuite corrigée comme suit :

$$C_{in situ} = C_{passam} \times (D_{passam} / D_{éch})$$

Avec :

$C_{in situ}$: Concentration massique calculée d'après la température réelle lors des prélèvements (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

C_{passam} : Concentration calculée par le laboratoire à partir d'un débit d'échantillonnage de 9°C (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

D_{passam} : Débit déterminé par le laboratoire à 9°C , soit 0.8536 ml/min

$D_{éch}$: Débit d'échantillonnage calculé d'après la température lors des prélèvements (en ml/min)

Cas particulier : analyse dans le cadre du protocole PREBAT

Le débit déterminé à 21°C est de 1.123 ml/min pour les prélèvements réalisés dans le cadre du protocole PREBAT.

La formule qui doit être utilisée pour calculer le débit réel en fonction des conditions de prélèvements est la suivante [source : protocole PREBAT] :

$$D_{éch}(\text{cm}^3/\text{h}) = (0.60 \times T(\text{K}) - 294.25 + 51.2) / 60$$

b. Calcul de la concentration dans les conditions de prélèvements

$$C = \frac{(m_{éch}) \times 10^3}{D_{éch} \times t}$$

C : Concentration du composé (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

$m_{éch}$: masse de composé échantillonnée sur la cartouche (en ng)

$D_{éch}$: débit d'échantillonnage corrigé du composé (en mL/min ou cm^3/min)

t : durée d'exposition (en minutes)

Prise en compte des blancs de terrain :

Air ambiant extérieur : ☐ oui ☒ non [Source : NF EN 16 339 sept. 2003]

Prise en compte des blancs de lot :

Air ambiant extérieur : ☒ oui (si disponible) ☐ non [Source : NF EN 16 339 sept. 2003]

c. Calcul de la concentration standardisée

Dans l'expression finale du résultat et selon l'objectif de l'étude, la concentration doit être ramenée aux conditions standard de pression et de température, à savoir 101.3 kPa et 20°C (293K).

$$C_{P,T} = C \times \frac{101.3}{P_{atm}} \times \frac{T}{293}$$

$C_{P,T}$: concentration massique standardisée du composé en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

C : concentration massique du composé aux conditions d'exposition en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

P_{atm} : pression atmosphérique moyenne de la période de prélèvement en kPa

T : température moyenne de la période de prélèvement en Kelvin

Standardisation des résultats :

- Air ambiant extérieur : ☒ oui ☐ non Source : Directive 2008/CE/50

- Air intérieur : ☐ oui ☒ non Source : Protocole PREBAT

PASSAM ne standardise pas les résultats.