

**« Mesures PM10 - Différenciation naturelle-anthropique »
sur les stations fixes de surveillance de la qualité de l'air
sur les communes de Saint-Denis et Sainte-Suzanne.**

Période : Janvier 2014 à décembre 2014

Rapport final



Réf. : D E 096 C (CA : 23 2500 2)

Parution : 12/01/2016



Diffusion :

⇒ DEAL Réunion

Résumé :

Le présent rapport décrit et commente le bilan des campagnes de mesures réalisées en 2014 dans le cadre de l'étude portant sur les « **mesures PM10 - Différenciation naturelle-anthropique** » sur quatre stations fixes de surveillance de la qualité de l'air localisées sur les communes de Saint-Denis et Sainte-Suzanne. Les données relevées à l'aide d'analyseurs automatiques sont comparées aux normes réglementaires en vigueur. Une expertise des données et des résultats d'analyses en laboratoire a permis de déterminer la contribution des sources d'origine naturelle et anthropique sur Saint-Denis.

Traitement des données :

Suite à l'audit du LCSQA (Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air) et aux recommandations du guide d'agrégation, les bases de calcul statistique ne sont plus le quart d'heure mais l'heure pleine, ni la moyenne glissante sur 24 h mais la moyenne journalière. Pour information, à partir de 2014, les données primaires utilisées par l'ORA sont en heure pleine.

L'ensemble des moyennes horaires calculées sur le ¼ h n'est plus appliqué à compter de 2014. De même, les moyennes journalières calculées sur 24h glissantes sur le ¼ h ne sont plus appliquées à compter de 2014.

Conditions de diffusion :

L'ensemble des données statistiques relatives aux mesures de la qualité de l'air à La Réunion est disponible sur le site internet de l'ORA à l'adresse suivante : <http://www.atmo-reunion.net>

Les données contenues dans ce document restent la propriété de l'Observatoire Réunionnais de l'Air (ORA).

Les rapports et données ne seront pas systématiquement rediffusés en cas de modification ultérieure.

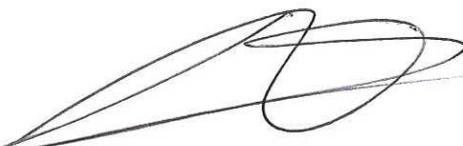
Toute utilisation partielle ou totale de ce document doit faire référence à l'ORA en termes de « Observatoire Réunionnais de l'Air : nom de l'étude (**Mesures PM10 - « Différenciation naturelle - anthropique » sur les stations fixes de surveillance de la qualité de l'air sur les communes de Saint-Denis et Sainte-Suzanne**).

L'Observatoire Réunionnais de l'Air (ORA) ne peut en aucune façon être tenu responsable des interprétations, travaux intellectuels et/ou publications diverses résultant de ses travaux et pour lesquels aucun accord préalable n'aurait été donné.

Dans ce rapport, les incertitudes de mesures ne sont pas utilisées pour la validation des résultats présentés.

MISE A JOUR

INDICE	DATE	OBJET DE LA MODIFICATION	PAGE(S) MODIFIEES
C	12 janvier 2016	Conclusion des résultats de mesures réalisées en 2014	26

	REDIGE PAR	REVU PAR
NOM	Chatrapatty BHUGWANT	Bruno SIEJA
FONCTION	Ingénieur d'études/Chef de Projets Polluants réglementés	Directeur
VISA		

Sommaire

Glossaire	-----	3
I- Préambule	-----	4
II- Polluants étudiés et réglementation	-----	5
1. Caractéristiques physiques	.....	5
2. Sources et impacts des polluants étudiés	.....	5
3. Réglementations	.....	6
III- Méthodologie	-----	7
1. Plan de situation	.....	7
2. Campagnes de mesures	.....	8
3. Matériels utilisés	.....	9
IV- Résultats et commentaires	-----	11
1. Influence de la météorologie (directions et vitesses de vents)	.....	11
2. Evolution de la concentrations des polluants atmosphériques	.....	13
a) Mesures des concentrations en dioxyde d'azote (NO ₂)	.....	13
b) Mesures des concentrations en oxydes d'azote (NO _x)	.....	17
c) Mesures des concentrations de particules (PM10)	.....	18
c.1. Relevés des concentrations de PM10 obtenus à l'aide d'analyseurs automatiques	.....	18
c.2. Relevés des espèces chimiques dans les PM10 obtenus à l'aide des préleveurs actifs	.....	22
Conclusion	-----	26

Glossaire

Généralités

Milieu ambiant : Milieu physique et matériel qui constitue l'environnement dans lequel on vit.

Atmosphère : Couche gazeuse qui entoure la Terre. Les phénomènes météorologiques sont particulièrement actifs dans les premières dizaines de kilomètres (troposphère surtout).

Émission : Rejet d'effluents (gazeux et particulaires) dans l'atmosphère à partir d'une source anthropique ou naturelle (ex. cheminée d'usine, volcan ...).

Immission : L'immission caractérise la concentration des polluants dans l'air ambiant, en un lieu donné. C'est le stade final du cycle de la pollution atmosphérique après concentration des polluants primaires (issus de l'émission) et des polluants secondaires créés après transformation des polluants primaires.

Station trafic : L'objectif de ces stations est de fournir des informations sur les concentrations mesurées dans les zones représentatives du niveau maximum d'exposition auquel la population située en proximité d'une installation routière est susceptible d'être exposée.

Station urbaine de fond : Implantée dans des quartiers densément peuplés (entre 3 000 et 4 000 habitants/Km²) et à distance de sources de pollution directes. L'objectif de ces stations est d'avoir un suivi du niveau d'exposition moyen de la population aux phénomènes de pollution atmosphériques dits 'de fond' dans les centres urbains.

Station industrielle : Implantée à proximité de la source émettrice qu'elle est censée mesurer. L'objectif est de fournir des informations sur les concentrations représentatives du niveau de pollution induit par des phénomènes de panache ou d'accumulation issu d'une source industrielle.

Organismes

DEAL : Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

INERIS : Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques

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

ORA : Observatoire Réunionnais de l'Air

Polluants

PM10 : particules en suspension (PM : particulate matter) de diamètre aérodynamique inférieur ou égal à 10 micromètres

NO₂ : Dioxyde d'azote

Anions : Ions dotés d'une charge électrique négative

Cl⁻ : Chlorures

NO₃⁻ : Nitrates

SO₄²⁻ : Sulfates

nssSO₄²⁻ : non sea salt Sulfate (sulfates non marins)

Cations : Ions dotés d'une charge électrique positive

NH₄⁺ : Ammonium

Ca²⁺ : Calcium

K⁺ : Potassium

Mg²⁺ : Magnesium

Na⁺ : Sodium

Matières carbonées :

EC : Elemental Carbon (carbone élémentaire ou "carbone suie")

OC : Organic Carbon (carbone organique)

OM : Organic Matter (matière organique)

Unités

Microgramme par mètre cube : µg/m³, millionième de gramme de polluant par mètre cube d'air

I- Préambule

En tant qu'organisme agréé, chargé de la surveillance de la qualité de l'air sur l'île de La Réunion, l'Observatoire Réunionnais de l'Air (ORA) dispose d'un réseau de stations fixes de mesures implanté sur le territoire de La Réunion afin d'effectuer la surveillance en continu des polluants réglementés.

Parmi ces polluants réglementés, les fines particules en suspension dans l'air présentent un intérêt particulier, notamment du fait :

- de leur impact avéré sur la santé et l'environnement.
- de leurs origines multiples (trafic, agricole, industrielle, naturelle ...).

Aussi, l'ORA est impliqué dans le programme national CARA (**CAR**actérisation des particules), porté par le LCSQA-INERIS, en application du code de l'environnement, de la directive 2008/50/CE du 21/05/2008 et du plan particules établi en juillet 2010 par le ministère en charge de l'environnement.

L'objet de cette démarche est d'anticiper les éventuels épisodes de dépassement des valeurs-limites en PM10 et de distinguer la contribution d'origine anthropique de celle d'origine naturelle. Ainsi, en 2012, une première étude de spéciation chimique a été réalisée par l'ORA dans l'agglomération de Saint-Pierre, concernant l'évaluation de la contribution des embruns marins aux dépassements des valeurs-limites. Les conclusions de cette étude sont disponibles sur le site internet de l'ORA (cf. rapport **DRC -12-126716-08887A**, septembre 2012).

La présente étude a pour objectif principal de présenter les concentrations en PM10 relevées sur les stations de surveillance localisées sur les communes de Saint-Denis (Nord de l'île) et Sainte-Suzanne (Est de l'île). Le bilan de la caractérisation chimique (mesures qualitatives) de ces mêmes particules fines relevées du 31 janvier 2014 au 25 décembre 2014 sera également présenté uniquement pour les sites de Saint-Denis.

Pour des raisons techniques, les mesures de PM10 qualitatives sur la station MAR seront réalisées ultérieurement.

Afin d'identifier l'origine des particules, les concentrations en NO₂ (polluant d'origine anthropique) relevées en parallèle sur ces stations seront également étudiées, permettant ainsi de caractériser l'environnement des différents sites prospectés.

Les quatre stations de surveillance concernées par cette étude sont les suivantes :

- Station n°1 : Ecole Joinville (JOI; station urbaine de fond) - Saint-Denis,
- Station n°2 : Lycée Lislet Geoffroy (LIS; station urbaine de fond) - Saint-Denis,
- Station n°3 : Boulevard Jean Jaurès (BDJ; station de proximité trafic) - Saint-Denis,
- Station n°4 : Ecole La Marine (MAR ; station de proximité industrielle) - Sainte-Suzanne.

Afin de discriminer les particules d'origine anthropique de celles d'origine naturelle, des filtres ont été prélevés quotidiennement, par rotation, sur trois stations de mesures localisées sur la commune de Saint-Denis.

II- Polluants étudiés et réglementation

1. Caractéristiques physiques

Les particules atmosphériques, appelées aérosols, constituent un ensemble hétérogène. Elles diffèrent par leur taille, leur nature chimique et leur origine. On distingue les particules dites 'primaires', qui sont émises directement dans l'atmosphère sous forme particulaire. Les particules 'secondaires' sont celles qui résultent de la transformation de polluants primaires par différentes réactions physico-chimiques.

Ces particules sont également classées en différentes catégories, en fonction de leur taille :

- les particules en suspension, de diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm (PM10),
- les particules fines, de diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 µm (PM2,5),
- les particules ultras fines (ou PUF), de diamètre aérodynamique inférieur à 0,1 µm (PM0,1).

Les grosses particules sont produites par des processus mécaniques : vent de sable, embruns, broyage, déchargement des matières ... Leur durée de vie dans l'atmosphère est très courte. Elles disparaissent par sédimentation directe, par exemple. Les particules les plus fines proviennent, quant à elles, du grossissement des noyaux par condensation ou coagulation de particules primaires. Le temps de séjour de ces dernières dans l'atmosphère est plus long. Les particules fines sont généralement éliminées par les pluies (lessivage) ou par dépôt sec.

L'étude de caractérisation physico-chimique ciblera essentiellement les particules fines PM10. Néanmoins, cette classe de particules englobe celles dont les tailles sont inférieures.

Les données de dioxyde d'azote (NO₂), relevées en parallèle donneront des informations supplémentaires sur l'origine de la pollution atmosphérique, notamment du trafic routier, sachant que ce polluant est un excellent traceur de la pollution automobile.

2. Sources et impacts des polluants étudiés

Le **tableau 1** ci-dessous décrit les polluants étudiés, en indiquant leur origine ainsi que les impacts environnementaux et sanitaires qu'ils peuvent engendrer.

Polluant	Origine	Impact sur l'environnement	Impact sur la santé	Espèces chimiques
DIOXYDE D'AZOTE (NO₂)	Les oxydes d'azote (NOx) regroupent le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO ₂). Ils proviennent essentiellement de la combustion de combustibles fossiles. En effet, le monoxyde d'azote (NO) rejeté par les pots d'échappements s'oxyde dans l'air et se transforme en dioxyde d'azote (NO ₂). Mais une partie du dioxyde d'azote est également émise telle quelle dans l'atmosphère.	<p>→ Rôle précurseur dans la formation de l'ozone dans la basse atmosphère.</p> <p>→ Contribue aux pluies acides qui affectent les végétaux et les sols.</p>	→ Gaz irritant pour les bronches (augmente la fréquence et la gravité des crises chez les asthmatiques).	
PARTICULES FINES (PM10)	<p>Origine anthropique : Combustions industrielles ou domestiques, transport routier (principalement par le diesel).</p> <p>Origine naturelle : Volcanisme, érosion des sols, embruns marins ...</p> <p>Classées en fonctions de leur taille : PM10 : Particules de diamètre ≤10µm (retenues au niveau du nez et des voies aériennes supérieures).</p>	→ Contribuent aux salissures des bâtiments et des monuments.	→ Polluants irritants, leur action dépend de leur diamètre: les particules les plus grosses sont retenues par les voies aériennes supérieures alors que les plus fines pénètrent profondément dans les voies respiratoires. Leur toxicité est accentuée du fait qu'elles peuvent transporter des composés nocifs et cancérigènes.	→ Chlorures (Cl ⁻), nitrates (NO ₃ ⁻), sulfates (SO ₄ ²⁻), Ammonium (NH ₄ ⁺), Calcium (Ca ²⁺), Potassium (K ⁺), Magnésium (Mg ²⁺), Sodium (Na ⁺), carbone élémentaire (EC), carbone organique (OC)

Tableau 1 : Description générale de l'origine et des impacts des polluants surveillés.

3. Réglementations

Les résultats des polluants surveillés sont comparés à différentes références réglementaires, notamment :

S.A	Seuil d'alerte défini dans l'article R221-1 du code de l'Environnement ¹
S.I.R	Seuil d'information et de recommandation défini dans l'article R221-1 du code de l'Environnement ¹
V.L.P.S	Valeur limite pour la protection de la santé humaine définie dans l'article R221-1 du code de l'Environnement ¹
N.C.P.V	Niveau critique pour la protection de la végétation défini dans l'article R221-1 du code de l'Environnement ¹
O.Q	Objectif de qualité défini dans l'article R221-1 du code de l'Environnement ¹

Décret 2010 - 1250 du 21 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air				
Polluants réglementés				
Type	Valeur	Période considérée	Mode calcul	Remarques
Dioxyde d'azote - NO₂				
S.A	400 µg/m ³	3 heures consécutives	Moyenne horaire	
S.I.R	200 µg/m ³	Heure	Moyenne horaire	
V.L.P.S	200 µg/m ³	Année civile	Moyenne horaire	A ne pas dépasser plus de 18 fois par année civile
	40 µg/m ³	Année civile	Moyenne annuelle civile	
O.Q	40 µg/m ³	Année civile	Moyenne annuelle civile	
Oxydes d'azote - NOx				
N.C.P.V	30 µg/m ³	Année civile	Moyenne annuelle civile	
Particules en suspension - PM10				
S.A	80 µg/m ³	jour	Moyenne journalière	
S.I.R	50 µg/m ³	jour	Moyenne journalière	
V.L.P.S	50 µg/m ³	Année civile	Moyenne journalière	A ne pas dépasser plus de 35 fois par année civile
	40 µg/m ³	Année civile	Moyenne annuelle civile	
O.Q	30 µg/m ³	Année civile	Moyenne annuelle civile	

1 : Article R221-1 du code de l'Environnement - Section 1 : Surveillance de la qualité de l'air ambiant

Tableau 2 : Valeurs réglementaires des polluants étudiés, applicables pour l'année 2014.
(Source : Décret 2010-1250 du 21 octobre 2010).

III-Méthodologie

1. Plan de situation

Pour répondre aux exigences de cette étude, quatre stations de surveillance de la qualité de l'air ont été sélectionnées. La **figure 1** présente la localisation de ces stations, sur les communes de Saint-Denis et Sainte-Suzanne. Les différents dispositifs de mesures utilisés : analyseurs automatiques (AA) et préleveurs actifs (PA), installés dans ces quatre stations fixes, sont décrits dans le **tableau 3** ci-après.

Carte de localisation des zones de mesures (AA et AA & PA) :

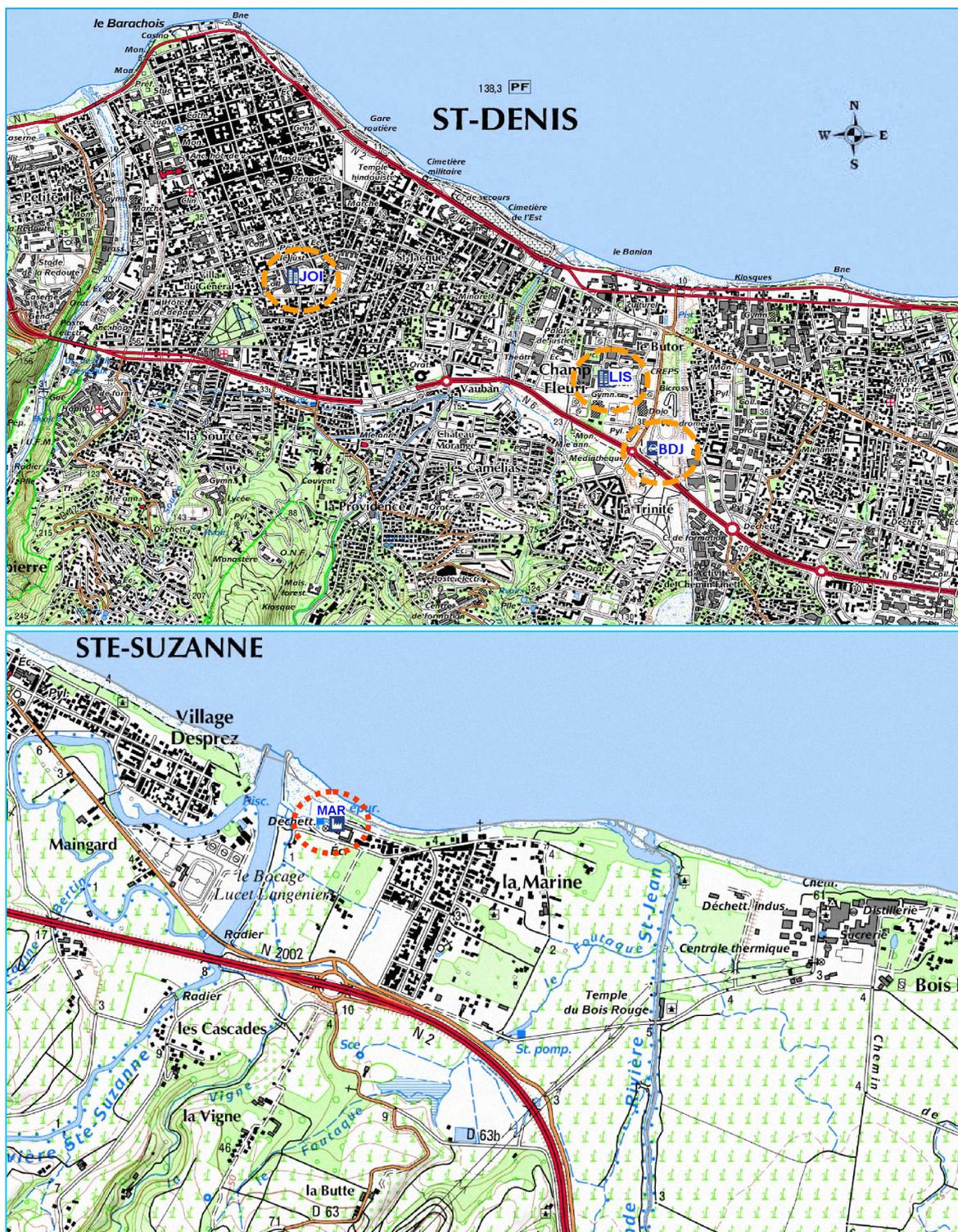


Figure 1 : Localisation des stations de surveillance JOI, LIS, BDJ et MAR (Source : ©IGN- © autorisation N°10191).

2. Campagnes de mesures

Cette surveillance s'étale sur une période de 11 mois, soit du 31 janvier 2014 au 25 décembre 2014 (cf. **tableau 3**). Les relevés de NO₂ et de PM10 ont été réalisés en continu et simultanément à l'aide d'analyseurs automatiques sur les quatre stations : JOI, LIS, BDJ et MAR. Les prélèvements des PM10 sur filtres ont été réalisés à l'aide de préleveurs actifs sur les trois stations : JOI, LIS et BDJ par séquences de 2 semaines sur 2 stations.

Mesures effectuées à l'aide d'analyseurs automatiques (AA), (en continu) :					
Code Campagne	Dispositif de surveillance	Début campagne	Fin campagne	Site surveillé	Polluants surveillés
AA_LIS	Analyseurs automatiques installés dans station fixe	31/01/2014	25/12/2014	Lycée Lislet Geoffroy	NO ₂ et PM10
AA_JOI				Ecole Joinville	
AA_BDJ				Boulevard Jean-Jaurès	
AA_MAR				Ecole La Marine	
Mesures effectuées à l'aide de préleveurs actifs (PA), (campagne : 2 semaines/site) :					
Code Campagne	Dispositif de surveillance	Début campagne	Fin campagne	Site surveillé	Polluants surveillés
PA_LIS	Préleveur installé dans station fixe	31/01/2014	25/12/2014	Lycée Lislet Geoffroy	Ca ⁺ , Cl ⁻ , K ⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , EC et OC
PA_JOI				Ecole Joinville	
PA_BDJ				Boulevard Jean-Jaurès	

Tableau 3 : Campagnes de surveillances réalisées en fonction des différents dispositifs et des sites de mesures.

Le **tableau 4** présente le détail des campagnes de mesures par prélèvement réalisées sur les stations JOI, LIS et BDJ en 2014. Les périodes (dates de début et fin) de mesures correspondent aux campagnes durant lesquelles des prélèvements quotidiens sur filtres ont été réalisés. Pour information, les mesures quantitatives en PM10 ont été réalisées en continu du 31/01/14 au 25/12/14 sur les 4 stations (JOI, LIS, BDJ et MAR).

N° Campagne	JOI		LIS		BDJ	
	Début	fin	Début	fin	Début	fin
1	31/01/2014	13/02/2014	08/02/2014	20/02/2014	15/02/2014	27/02/2014
2	22/02/2014	06/03/2014	01/03/2014	13/04/2014	08/03/2014	20/03/2014
3	15/03/2014	27/03/2014	22/03/2014	03/04/2014	29/03/2014	10/04/2014
4	05/04/2014	17/04/2014	12/04/2014	24/04/2014	19/04/2014	01/05/2014
5	26/04/2014	08/05/2014	03/05/2014	15/05/2014	10/05/2014	22/05/2014
6	17/05/2014	29/05/2014	24/05/2014	05/06/2014	31/05/2014	12/06/2014
7	07/06/2014	19/06/2014	14/06/2014	26/06/2014	21/06/2014	03/07/2014
8	28/06/2014	11/07/2014	05/07/2014	17/07/2014	12/07/2014	24/07/2014
9	19/07/2014	31/07/2014	26/07/2014	07/08/2014	02/08/2014	14/08/2014
10	09/08/2014	21/08/2014	16/08/2014	28/08/2014	23/08/2014	04/09/2014
11	30/08/2014	11/09/2014	06/09/2014	18/09/2014	13/09/2014	25/09/2014
12	20/09/2014	02/10/2014	27/09/2014	09/10/2014	04/10/2014	16/10/2014
13	11/10/2014	23/10/2014	18/10/2014	30/10/2014	25/10/2014	06/11/2014
14	01/11/2014	13/11/2014	08/11/2014	20/11/2014	15/11/2014	27/11/2014
15	22/11/2014	04/12/2014	29/11/2014	11/12/2014	06/12/2014	18/12/2014
16	13/12/2014	25/12/2014				

Tableau 4 : Période des campagnes de mesures par prélèvement réalisées sur les stations JOI, LIS et BDJ en 2014.

3. Matériels utilisés

L'ORA dispose de stations fixes pour assurer la surveillance en continu des polluants réglementés, afin notamment d'avoir une couverture optimale des mesures en zone urbaine de fond et de proximité trafic, sur l'agglomération de Saint-Denis (cf. **figure 1**). L'ORA dispose aussi d'une station fixe de proximité industrielle, sur la commune de Sainte-Suzanne. Dans le cadre de cette étude, les stations localisées sur Saint-Denis comportent deux types de prélèvements de particules :

- la mesure en continu de la concentration en particules, à l'aide d'analyseurs automatiques (ex. analyseur TEOM-FDMS).
- le prélèvement actif des particules sur des filtres à l'aide d'un préleveur (ex. préleveur actif PM162). L'analyse de ces filtres prélevés en laboratoire permet de déterminer la masse recueillie et la nature chimique des particules.

Lors de cette campagne de mesures, l'INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques) a effectué les analyses chimiques des filtres pour le compte de l'ORA.

La **figure 2** ci-après présente les quatre stations fixes dédiées à cette étude, localisées sur les communes de Saint-Denis et Sainte-Suzanne.



Figure 2 : Stations fixes localisées sur les sites suivants : 1- 'Ecole Joinville' (a), 2- 'Lycée Lislet Geoffroy' (b) 3- 'Boulevard Jean Jaurès' (c) et 4- 'La Marine' (d) durant la surveillance du 31/01/2014 au 25/12/2014. (source : ORA).

Le **tableau 5** ci-après présente les analyseurs et préleveurs installés dans les stations fixes pour la surveillance réalisée dans le cadre de l'étude.

Matériel	Site - Localisation du matériel	Polluant	Technique de mesures
Analyseur : TEOM-FDMS	Sites : 2, 3 et 4	PM10	Microbalance
Analyseur : BAM 1020 SH	Site : 1	PM10	Radiométrie Jauge Bêta
Analyseur : T200 API	Sites : 2, 3 et 4	NO ₂	Chimie-luminescence
Analyseur : 200E API	Site : 1	NO ₂	
Préleveur actif particules sur filtre quartz: PM 162 Environnement SA	Sites : 1, 2 et 3	Espèces chimiques (cf. Tableau 1)	<u>Anions/cations</u> : Chromatographie ionique <u>Fractions carbonées</u> : méthode thermo-optique par transmission

Tableau 5 : Matériels utilisés dans les stations fixes de surveillance à Saint-Denis et Sainte-Suzanne.

Illustration des appareils de mesures :

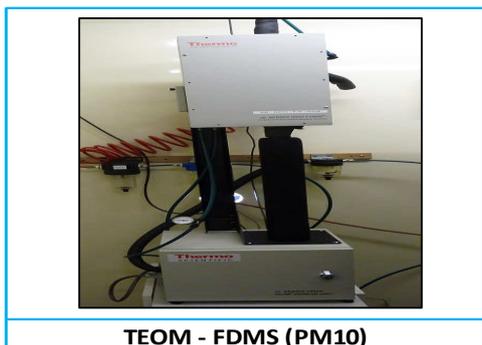
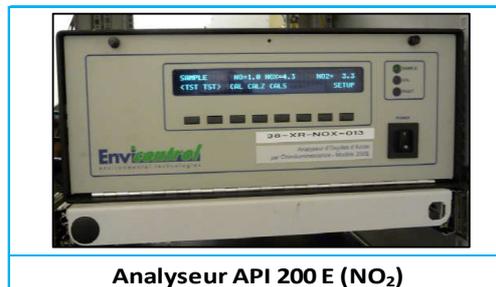


Figure 3 : Photographies d'analyseurs automatiques et du préleveur actif utilisés (**source :** ORA).

IV- Résultats et commentaires

1. Influence de la météorologie (directions et vitesses de vents)

Les données météorologiques (vitesse et direction du vent) sont issues des stations fixes équipées d'un mat météo. Ces paramètres météorologiques sont étudiés étant donné qu'ils ont une influence sur la variabilité de la concentration des polluants surveillés sur chaque station.

Les roses des vents, indiquant la direction, la vitesse et la fréquence des vents, ont été étudiées suivant les saisons (été et hiver) pour chacune des stations concernées, sauf en été pour la station 2 (LIS). **En effet, suite à des problèmes techniques, les données météorologiques ne sont pas disponibles pour la période d'été austral sur cette station.**

Rose des vents sur JOI, BDJ et MAR en été :

La **figure 4** présente la rose des vents sur les stations JOI, BDJ et MAR en été austral (du 31/01 au 30/04 et du 01/11 au 25/12/2014).

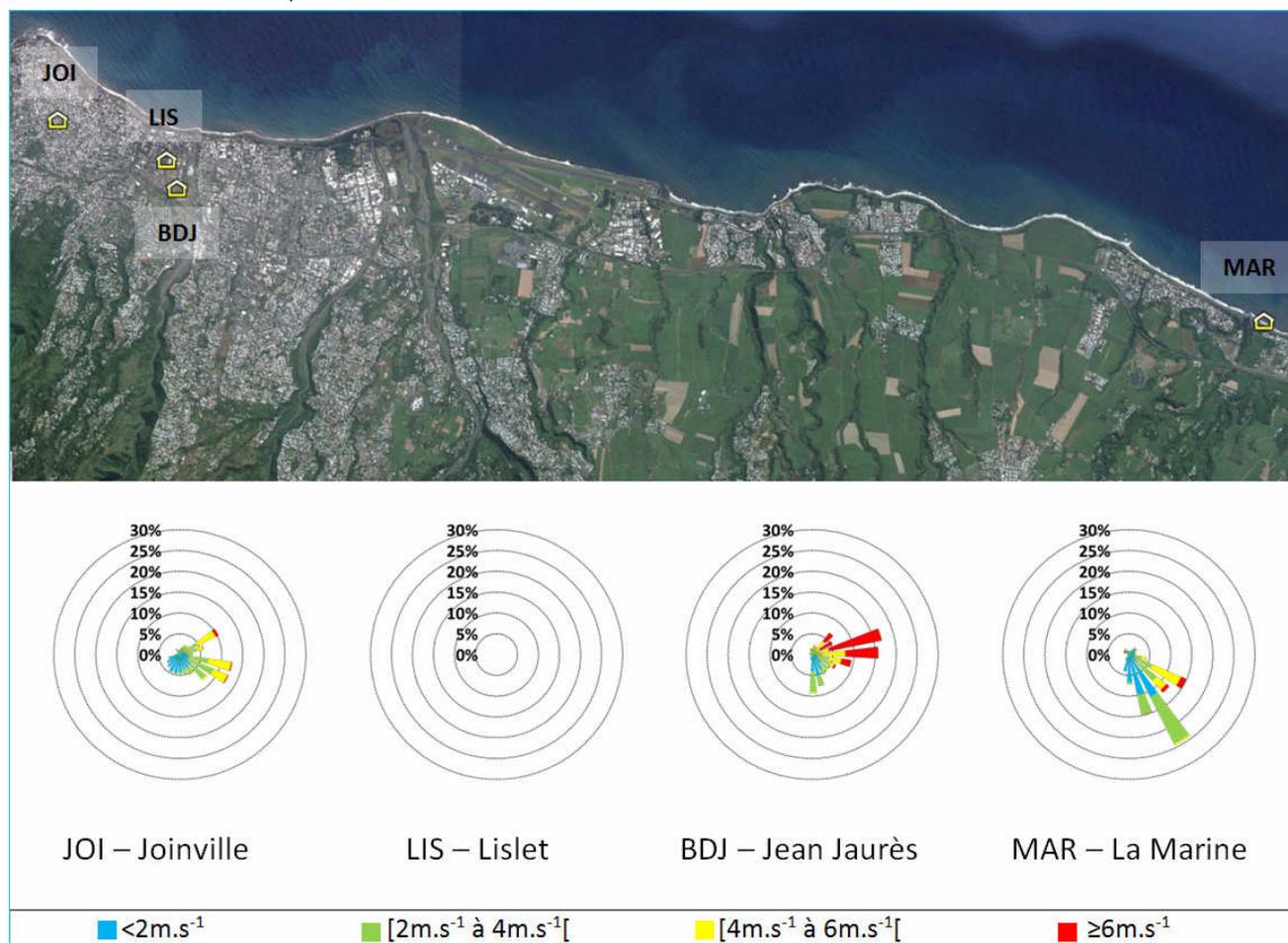


Figure 4 : Rose des vents sur JOI, BDJ et MAR pour la période du 31/01 au 30/04 et du 01/11 au 25/12/2014 (été).

Sur la station n°1 (JOI), les vents enregistrés durant la période de surveillance ont été relativement faibles à modérés (cf. **figure 4**). En effet, ~1.2 % des vents ont dépassé 6 m/s et globalement, plus de 83% étaient inférieurs à 4 m/s. Durant cette période, les vents provenaient majoritairement des secteurs nord-est (N.E) et sud-est (S.E).

Sur la station n°3 (BDJ), les vents enregistrés durant la période de surveillance ont été relativement forts (cf. **figure 4**). En effet, ~30% des vents ont dépassé 6 m/s et ~53% étaient inférieurs à 4 m/s. Le vent maximal relevé sur BDJ est plus élevé que celui enregistré sur JOI. Durant cette période, les vents provenaient majoritairement du secteur est-nord-est (E.N.E).

Sur la station n°4 (MAR), les vents enregistrés durant la période de surveillance ont été relativement faibles à modérés (cf. **figure 4**). En effet, ~3% des vents ont dépassé 6 m/s et plus de 85% étaient inférieurs à 4 m/s. Durant cette période, les vents provenaient majoritairement du secteur sud-est (S.E).

Rose des vents sur JOI, LIS, BDJ et MAR en hiver :

La **figure 5** présente la rose des vents sur les stations JOI, LIS, BDJ et MAR en hiver austral (du 01/05 au 30/10/2014).

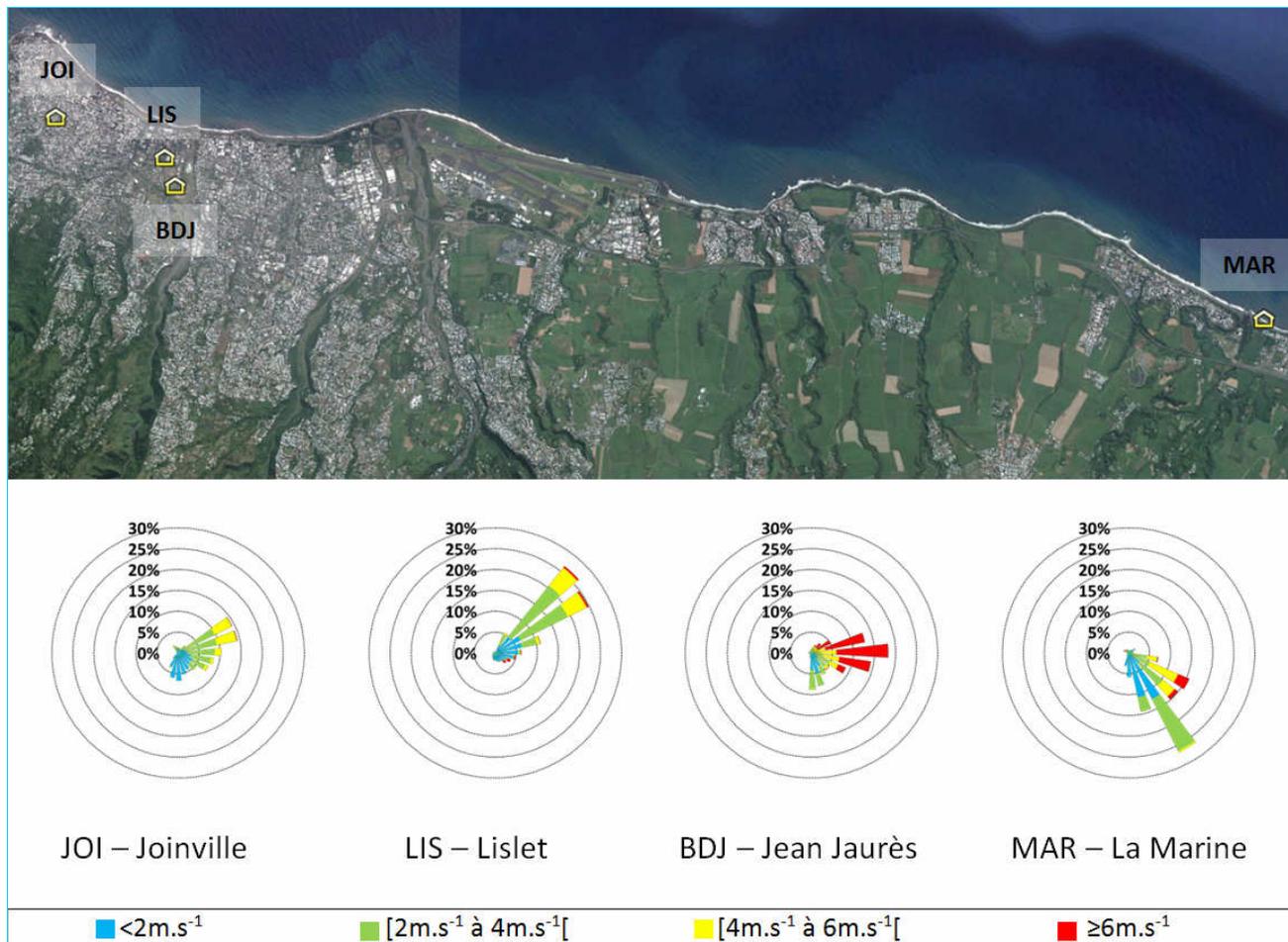


Figure 5 : Rose des vents sur JOI, LIS, BDJ et MAR pour la période du 01/05 au 30/10/2014 (hiver).

Sur la station JOI, les vents enregistrés durant la période de surveillance ont été relativement faibles à modérés (cf. **figure 5**). En effet, ~0.3% des vents ont dépassé 6 m/s et globalement, plus de 87% étaient inférieurs à 4 m/s. Durant cette période, les vents provenaient majoritairement du secteur nord-est (N.E).

Sur la station LIS, les vents enregistrés durant la période de surveillance ont été relativement modérés (cf. **figure 5**). En effet, ~3% des vents ont dépassé 6 m/s et ~85% étaient inférieurs à 4 m/s. Par ailleurs, le vent maximal relevé sur LIS est plus élevé que celui relevé sur JOI. Durant cette période, les vents provenaient majoritairement du secteur nord-est (N.E).

Sur la station BDJ les vents enregistrés durant la période de surveillance, ont été relativement forts (cf. **figure 5**). En effet, ~37% des vents ont dépassé 6 m/s et globalement, plus de 47% étaient inférieurs à 4 m/s. Par ailleurs, le vent maximal relevé sur BDJ est plus élevé que celui relevé sur JOI et LIS. Durant cette période, les vents provenaient majoritairement du secteur est-sud-est (E.S.E).

Sur la station MAR, les vents enregistrés durant la période de surveillance ont été relativement modérés à forts (cf. **figure 5**). En effet, ~5% des vents ont dépassé 6 m/s et ~81% étaient inférieurs à 4 m/s. Le vent maximal relevé sur MAR est plus fort en hiver qu'en été. Durant l'hiver, les vents provenaient majoritairement du secteur sud-est (S.E).

2. Evolution de la concentrations des polluants atmosphériques

a) Mesures des concentrations en dioxyde d'azote (NO₂)

Le **tableau 6** présente les principaux résultats de concentrations en NO₂ obtenus à l'aide d'analyseurs automatiques sur les stations JOI, LIS, BDJ et MAR durant la période du 31/01 au 25/12/2014.

Dioxyde d'azote (NO ₂)		NO ₂ _JOI	NO ₂ _LIS	NO ₂ _BDJ	NO ₂ _MAR
S.A : 400 µg/m³ pendant 3 heures consécutives	Maximum de la moyenne horaire (µg/m ³) (Date et Heure)	83 le 26/05/2014 08h00	101 le 09/02/2014 03h00 (139 µg/m ³ le 04/02/2014 à 10h00 : HC)	190 le 19/05/2014 08h00	63 le 08/07/2014 09h00
SIR : 200 µg/m³					
VLPS : 200 µg/m³	Nombre de moyenne horaire (> 200 µg/m ³) à ne pas dépasser plus de 18 fois par année civile	0	0	0	0
VLPS : 40 µg/m³	Moyenne annuelle 2014 (µg/m ³)	9,3	8,8	18,3	6,1
OQ : 40 µg/m³					

HC : Hors campagne de prélèvement sur filtre (cf. **tableau 4**)

Tableau 6 : Bilan des concentrations en NO₂ (µg/m³) relevées sur JOI, LIS, BDJ et MAR durant la période du 31/01 au 25/12/2014.

Au vu des résultats de NO₂ obtenus à l'aide d'analyseurs automatiques en 2014 sur les quatre stations investiguées (cf. **tableau 6**), on relève :

- qu'aucun dépassement du seuil d'alerte et/ou d'information et de recommandation n'a été constaté ;
- qu'aucune valeur-limite pour la protection de la santé humaine n'a été dépassée ;
- qu'aucun objectif de qualité n'a été dépassé.

La **figure 6** présente l'évolution des concentrations journalières en NO₂ relevées sur JOI, LIS, BDJ et MAR durant la période du 31/01 au 25/12/2014. **Suite à des problèmes techniques, les données de NO₂ sur la station BDJ ne sont pas disponibles pour certaines périodes (ex. 31/01 au 14/02/14 et 24/08 au 11/09/14).**

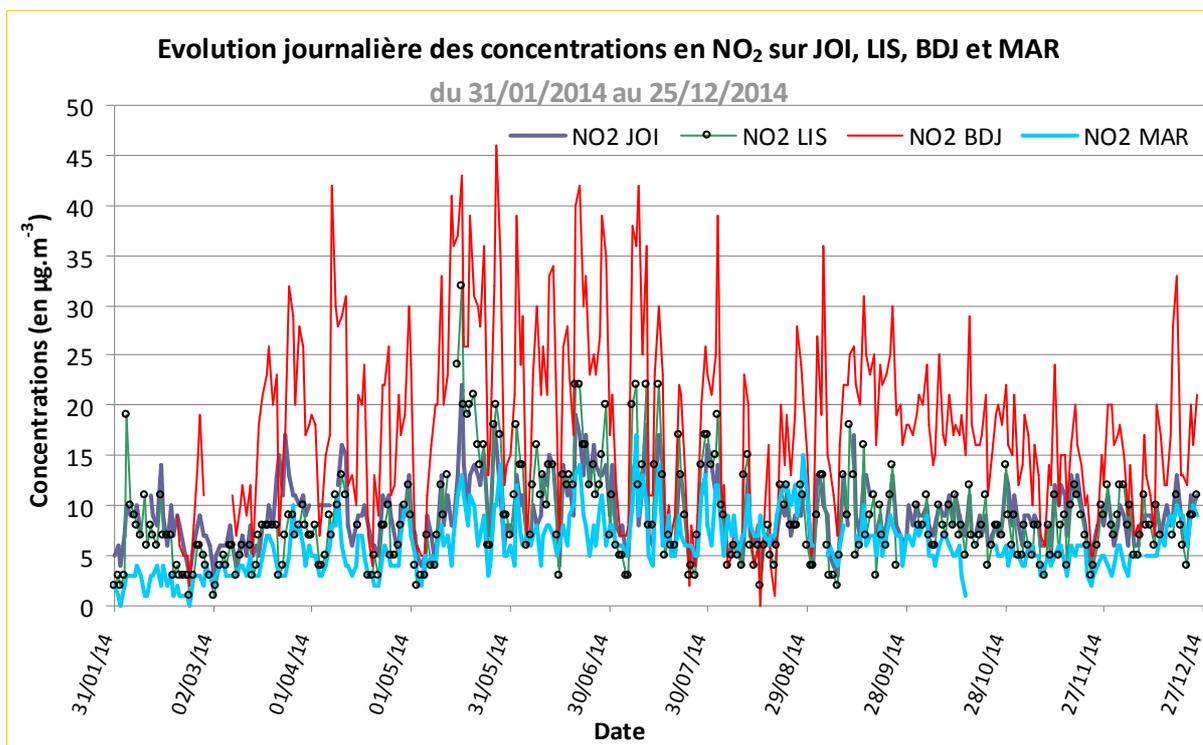


Figure 6 : Évolution journalière des concentrations en NO₂ relevées sur JOI, LIS, BDJ et MAR du 31/01 au 25/12/2014.

L'évolution journalière des concentrations en NO₂ relevées sur les différentes stations montre que celle de BDJ (station 'trafic') présente un niveau plus élevé par rapport à celles de JOI, LIS et MAR (cf. **figure 6**).

Durant la période de surveillance, on relève un maximum journalier de 46 µg/m³ le 27/05/2014 sur BDJ. On note une augmentation des concentrations en NO₂ pendant les jours ouvrés, durant lesquels le trafic est plus important et une diminution des concentrations pendant les week-ends lorsque le trafic est faible. En zone urbaine, le NO₂ étant produit essentiellement par la circulation automobile, l'évolution de la concentration de ce polluant sur les trois stations de Saint-Denis est caractéristique de l'activité du trafic routier. Sur l'agglomération de Saint-Denis, on note une baisse de la concentration en NO₂ durant les vacances scolaires de juillet-août et de décembre, lorsque l'activité du trafic est plus faible.

La concentration journalière de NO₂ relevée sur MAR durant l'année 2014 évolue faiblement par rapport aux autres sites. Ceci s'explique par le fait que cette station est relativement éloignée des axes routiers importants (ex. RN2). Aucun impact important n'est également à signaler concernant les émissions industrielles.

La **figure 7** présente l'évolution des concentrations horaires en NO₂ moyennées sur 24h, sur les stations JOI, LIS, BDJ et MAR durant la période de 31/01/2014 au 25/12/2014.

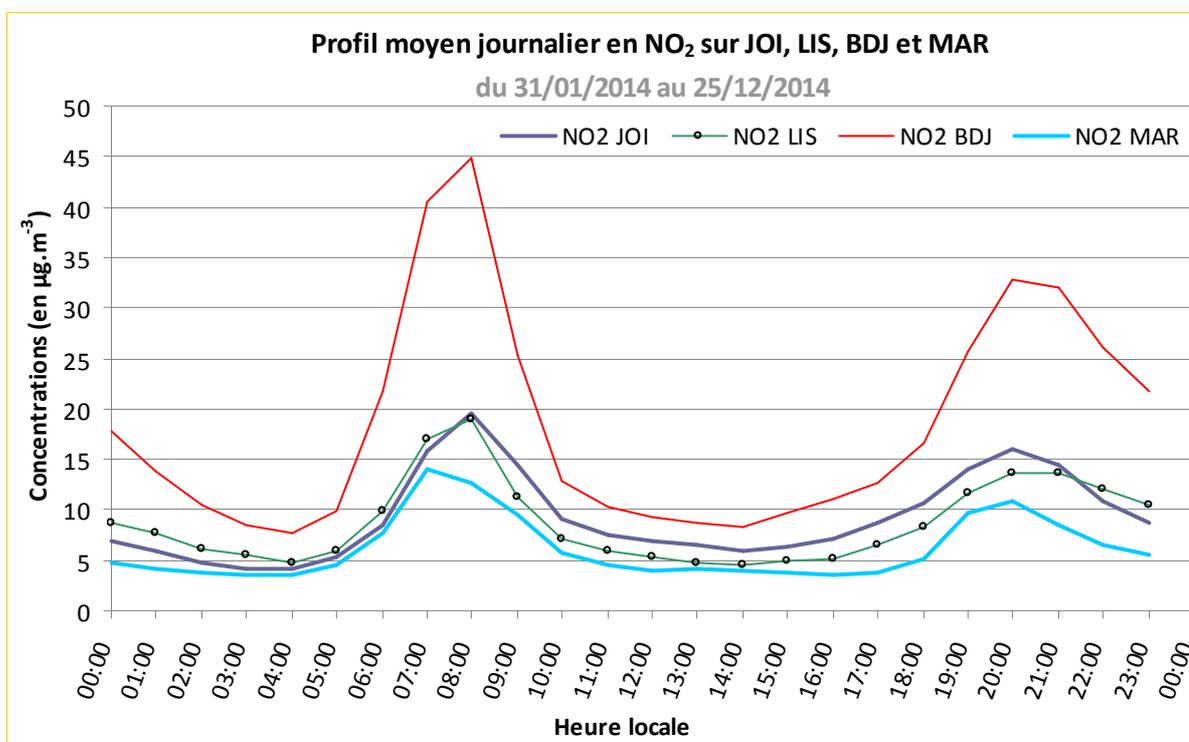


Figure 7 : Évolution horaire des concentrations moyennées en NO₂ (µg/m³) sur les stations JOI, LIS, BDJ et MAR du 31/01/2014 au 25/12/2014.

Au vu des profils moyens journaliers de la concentration horaire en NO₂, on relève que les quatre stations de surveillance sont essentiellement impactées par l'activité du trafic routier environnant (cf. **figure 7**). En effet, on relève un pic de concentration en NO₂ le matin (à 8h00) et le soir (vers 20h00), correspondant aux heures 'de pointe' du trafic automobile sur l'agglomération de Saint-Denis et sur La Marine. La station BDJ présente systématiquement des concentrations plus importantes en NO₂ et celle de MAR présente le plus faible niveau. La proximité immédiate du boulevard Jean Jaurès avec la station 'de proximité trafic' BDJ est la principale cause du niveau de concentration plus élevée en NO₂ enregistré sur cette station.

Pendant la journée, la concentration horaire moyenne en NO₂ relevée sur la station JOI est légèrement plus élevée que celles enregistrées sur les stations LIS et MAR.

La variation des concentrations horaires moyennes en NO₂ durant la journée est similaire sur les quatre stations investiguées, avec toutefois des valeurs plus élevées enregistrées sur BDJ.

Une analyse des roses de pollution permettra de déterminer les différentes sources de pollution sur ces quatre stations de surveillance.

Afin d'étudier l'influence des conditions météorologiques lors de cette surveillance, les roses de pollution ont été tracées, représentant les concentrations horaires moyennes du NO₂ selon la direction du vent.

Suite à des problèmes techniques, les données météorologiques ne sont pas disponibles pour la période d'été austral sur la station LIS.

Roses de pollution en NO₂ sur les stations JOI, BDJ et MAR en été :

La **figure 8** présente les roses de pollution en NO₂ sur les stations JOI, BDJ et MAR en été (du 31/01/2014 au 30/04 et du 01/11 au 25/12/2014).

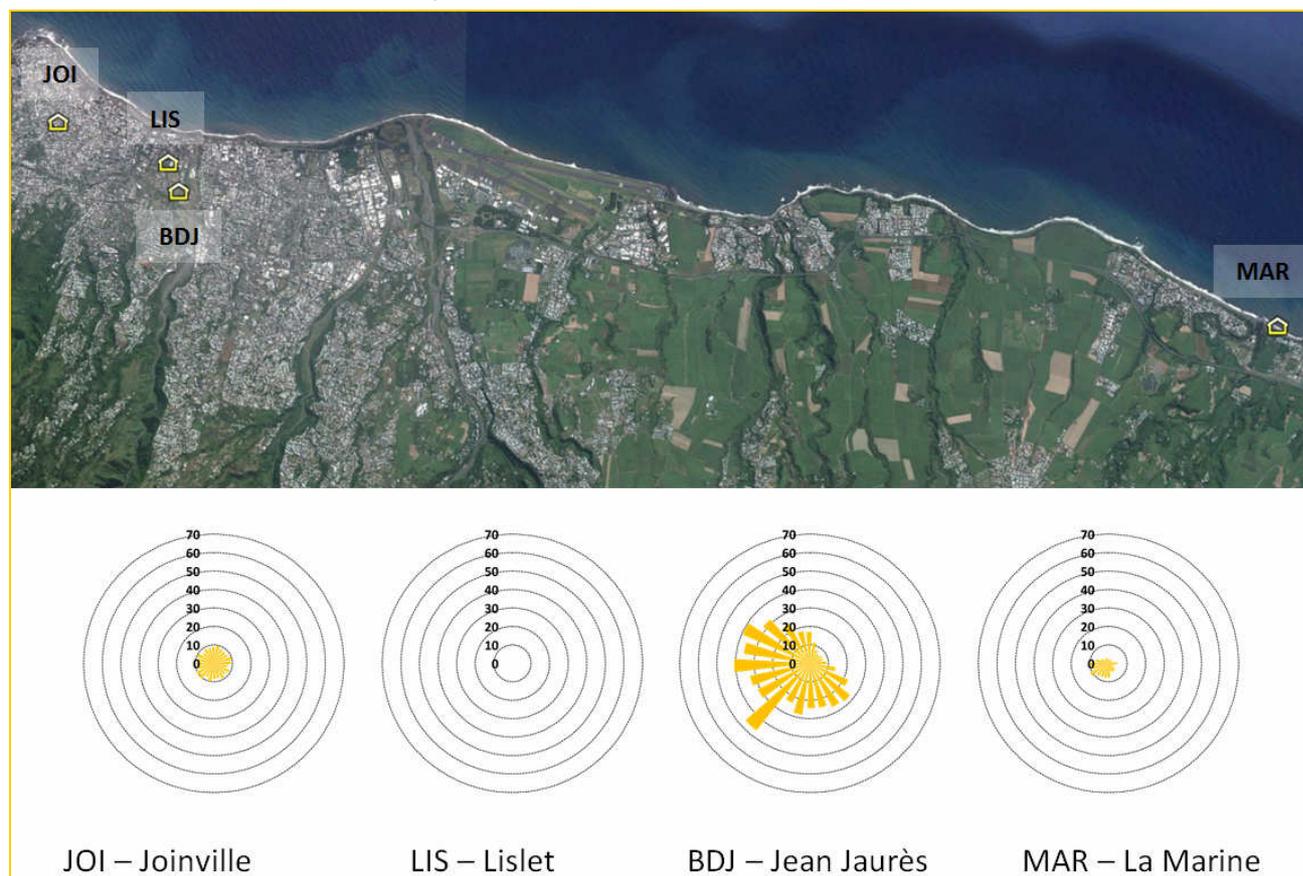


Figure 8 : Roses de pollution en NO₂ (µg/m³/h) sur les stations JOI, BDJ et MAR en été (du 31/01/2014 au 30/04) (Source : ORA / ©2014 Google ; Image ©2014 Digital Globe).

Sur les stations JOI et MAR, les roses de pollution montrent qu'en été (cf. **figure 8**), les concentrations en NO₂ ne proviennent d'aucun secteur majoritaire. Au vu de ces directions, la faible pollution en NO₂ sur cette zone est essentiellement due aux activités du trafic sur les voies principales environnantes (ex. rues Monseigneur de Beaumont et Juliette Dodu).

Sur la station BDJ, les concentrations les plus élevées en NO₂ relevées proviennent principalement des secteurs sud-ouest à nord-ouest (~210°-315°). Parmi les 3 zones investiguées, la plus forte concentration en NO₂ est enregistrée sur la station BDJ, avec une moyenne horaire maximale de 47 µg/m³ provenant du secteur sud-ouest (~220°). Au vu de ces directions, la pollution en NO₂ sur cette zone est principalement liée au trafic routier sur les voies principales environnantes (ex. route Digue et rond-point route Digue et boulevard Jean Jaurès).

Roses de pollution en NO₂ sur les stations JOI, LIS, BDJ et MAR en hiver :

La **figure 9** présente les roses de pollution en NO₂ sur les stations JOI, LIS, BDJ et MAR en hiver (du 01/05 au 30/10/2014).

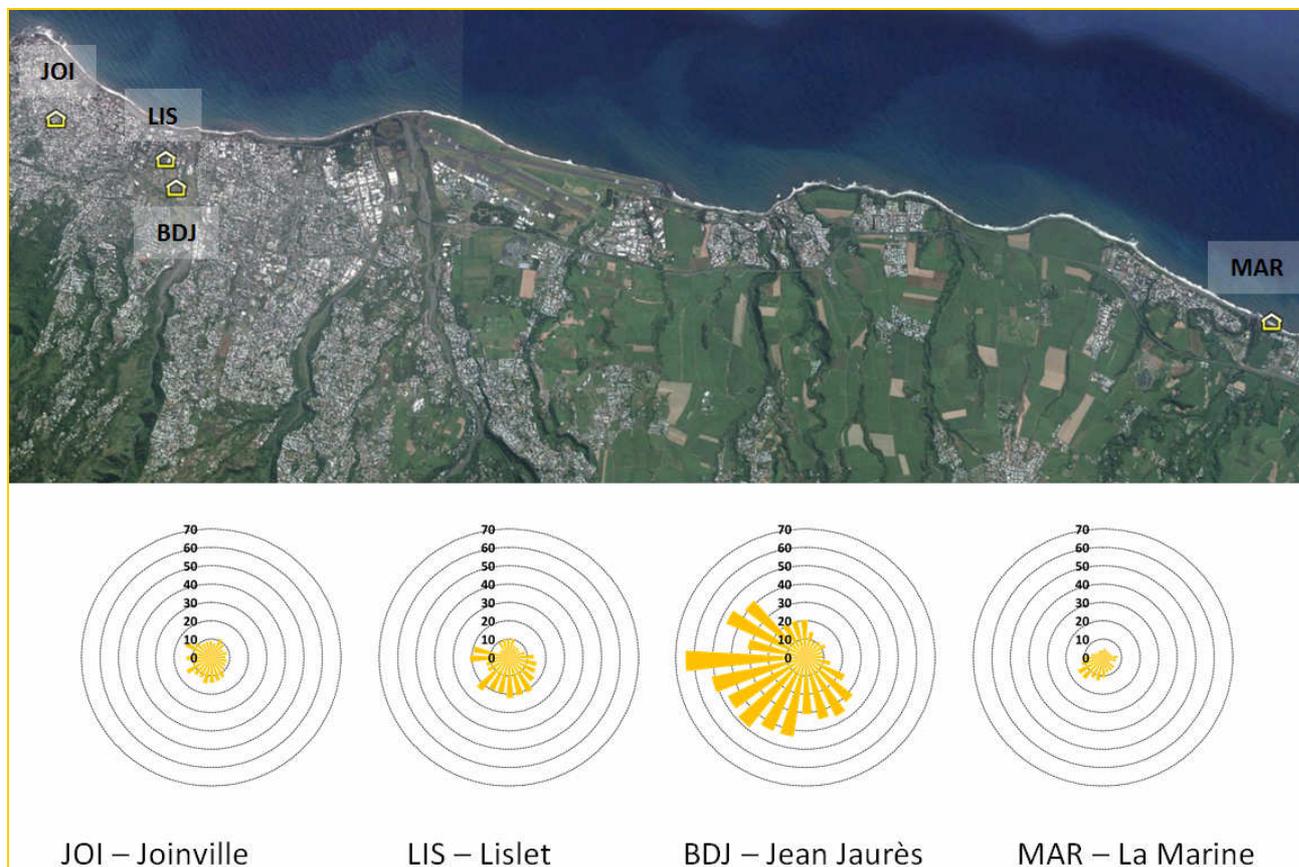


Figure 9 : Roses de pollution en NO₂ (µg/m³/h) sur les stations JOI, LIS, BDJ et MAR en hiver (du 01/05 au 30/10/2014)
(**Source** : ORA / ©2014 Google ; Image ©2014 Digital Globe).

Sur la station JOI, durant l'hiver (cf. **figure 9**), les concentrations les plus élevées en NO₂ relevées proviennent essentiellement des secteurs sud-est à nord-ouest (~170° - 300°). Au vu de ces directions, la pollution en NO₂ sur cette zone est principalement liée au trafic routier sur les voies principales environnantes (ex. angle rues Juliette Dodu et Monseigneur de Beaumont au nord-ouest et rue du Général de Gaulle au sud-sud-est).

Sur la station LIS, durant l'hiver austral, les concentrations les plus élevées en NO₂ proviennent essentiellement des secteurs sud-est à nord-ouest (~130° - 290°). Au vu de ces directions, la pollution en NO₂ sur cette zone est essentiellement due aux activités du trafic sur les voies principales environnantes (ex. Boulevard Jean Jaurès localisé au sud-sud-ouest).

Sur la station BDJ, en hiver, les concentrations les plus élevées en NO₂ relevées sur BDJ proviennent essentiellement des secteurs sud-ouest à nord-ouest (~190° - 320°). Parmi les 4 zones investiguées, la plus forte concentration en NO₂ est enregistrée sur la station BDJ, avec une moyenne horaire maximale de 65 µg/m³ provenant du secteur Ouest (~270°). Au vu de ces directions, la pollution en NO₂ sur cette zone est essentiellement due aux activités du trafic sur les voies principales environnantes (ex. route Digue et boulevard Jean Jaurès).

Sur la station MAR, en hiver, les concentrations les plus élevées en NO₂ proviennent essentiellement du secteur sud-ouest (~230°). Au vu de ces directions, la pollution en NO₂ sur cette zone est essentiellement due aux activités du trafic sur les voies principales environnantes (ex. RN2).

b) Mesures des concentrations en oxydes d'azote (NO_x)

Le **tableau 7** présente les principaux résultats de concentrations en NO_x obtenus à l'aide d'analyseurs automatiques sur les stations JOI, LIS, BDJ et MAR durant la période du 31/01 au 25/12/2014.

Oxydes d'azote (NO _x)					
		NO _x _JOI	NO _x _LIS	NO _x _BDJ	NO _x _MAR
NCPV : 30 µg/m³	Moyenne annuelle (µg/m ³)	14	12,7	44,6	12,9

Tableau 7 : Bilan des concentrations en NO_x (µg/m³) relevées sur JOI, LIS, BDJ et MAR durant la période du 31/01 au 25/12/2014.

Au vu des résultats de NO_x obtenus à l'aide d'analyseurs automatiques en 2014 sur les quatre stations investiguées (cf. **tableau 7**), on relève que le niveau critique pour la protection de la végétation n'a pas été dépassé sur les stations JOI, LIS et MAR.

En revanche, le niveau critique pour la protection de la végétation a été dépassé sur la station 'de proximité trafic' BDJ en 2014.

c) Mesures des concentrations de particules (PM10)

c.1. *Relevés des concentrations de PM10 obtenus à l'aide d'analyseurs automatiques*

Le **tableau 8** présente les principaux résultats de concentrations en PM10 obtenus à l'aide d'analyseurs automatiques sur les stations JOI, LIS, BDJ et MAR durant la période du 31/01 au 25/12/2014.

Particules en suspension (PM10)		PM10_JOI	PM10_LIS	PM10_BDJ	PM10_MAR
S.A : 80 µg/m³	Maximum de la moyenne journalière (µg/m ³) (Date)	22 le 05/07/2014	36 le 13/11/2014	37 les 15/05/2014 & 25/11/2014 (42 µg/m ³ le 31/07/2014 : HC)	56 le 06/02/2014
SIR : 50 µg/m³					
VLPS : 50 µg/m³	Nombre de moyennes journalières (> 50 µg/m ³) à ne pas dépasser plus de 35 fois par année civile	0	0	0	1
VLPS : 40 µg/m³	Moyenne annuelle 2014 (µg/m ³)	11,2	18,4	19,8	15
OQ : 30 µg/m³					

HC : Hors campagne de prélèvement sur filtre (cf. tableau 4)

Tableau 8 : Bilan des concentrations en PM10 (µg/m³) relevées sur JOI, LIS, BDJ et MAR durant la période du 31/01 au 25/12/2014.

Au vu des résultats obtenus pour les particules fines PM10 (cf. **tableau 8**) à l'aide d'analyseurs automatiques durant l'année 2014 sur les quatre stations investiguées, on note :

- qu'aucun dépassement du seuil d'alerte n'a été relevé sur ces quatre stations et qu'aucun dépassement du seuil d'information et de recommandation n'a été constaté sur les 3 stations de Saint-Denis. **En revanche, un dépassement du seuil d'information et de recommandation a été enregistré le 06/02/2014 sur la station MAR ;**
- qu'aucune valeur-limite journalière pour la protection de la santé humaine n'a été dépassée sur les 3 stations de Saint-Denis. **En revanche, un dépassement de ce seuil (à ne pas dépasser plus de 35 fois par an) a été enregistré le 06/02/2014 sur la station MAR ;**
- qu'aucune valeur-limite annuelle pour la protection de la santé humaine n'a été dépassée ;
- qu'aucun objectif de qualité n'a été dépassé.

La **figure 10** présente l'évolution des concentrations journalières en PM10 relevées sur JOI, LIS, BDJ et MAR durant la période du 31/01 au 25/12/2014.

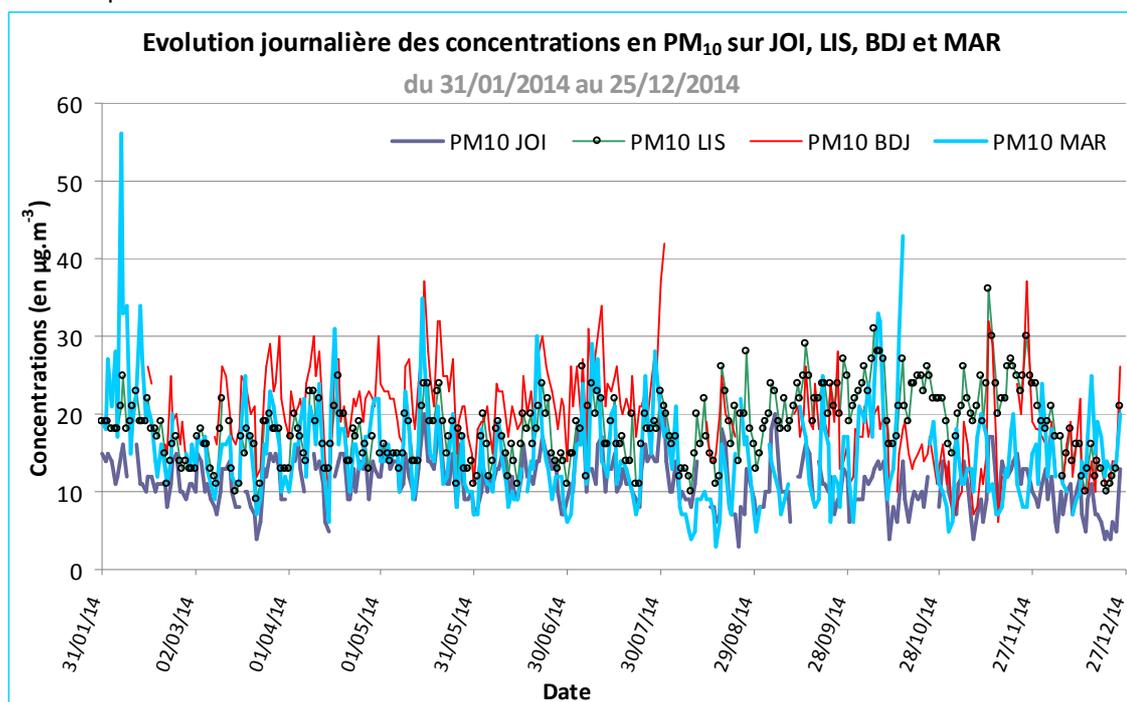


Figure 10 : Évolution journalière des concentrations en PM10 (µg/m³) relevées sur JOI, LIS, BDJ et MAR du 31/01 au 25/12/2014.

L'évolution des concentrations journalières en PM10 relevées sur les quatre stations de surveillance montre que celles de BDJ et de MAR présentent des valeurs plus importantes de janvier à juillet 2014. La station BDJ étant situé à proximité immédiate du boulevard Jean Jaurès, les activités du trafic routier influencent notablement l'évolution des concentrations en particules fines relevées. Cependant, cette station est également impactée par des sources d'origine naturelle (ex. embruns marins et poussières crustales), étant donné sa proximité avec des zones telles que le littoral et les terrains vagues adjacents. En revanche, la station MAR, étant située à proximité du littoral, est essentiellement impactée par les sels de mer, en particulier lors des épisodes de fortes houles. De mi-août à mi-décembre 2014, les concentrations journalières en PM10 relevées sur LIS sont plus importantes que celles relevées sur BDJ. On observe également une augmentation caractéristique des concentrations en particules fines les jours ouvrés et une diminution de celles-ci les week-ends. Les concentrations journalières en PM10 relevées sur les stations JOI et LIS présentent une tendance similaire, avec toutefois un niveau plus important relevé sur LIS que sur JOI.

La **figure 11** présente l'évolution des concentrations horaires en PM10 moyennée sur 24h, sur les stations JOI, LIS, BDJ et MAR durant la période du 31/01/2014 au 25/12/2014.

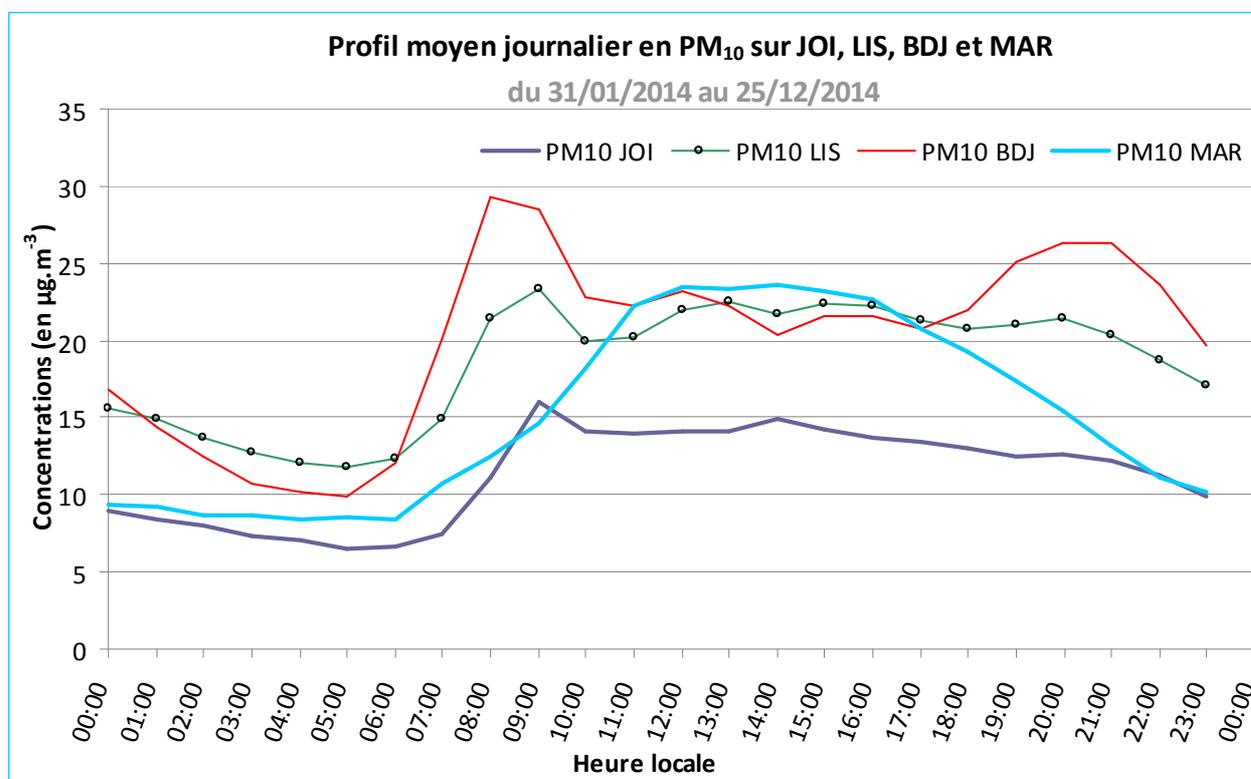


Figure 11 : Évolution horaire des concentrations moyennées en PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) sur les stations JOI, LIS, BDJ et MAR du 31/01/2014 au 25/12/2014.

Les profils moyens journaliers des concentrations en PM10 montrent que parmi les quatre stations investiguées celle de BDJ est la plus impactée par ce polluant et aussi par le NO₂ (cf. **figure 7**). L'évolution de la concentration journalière en PM10 sur les quatre stations montre que celle de MAR présente les fortes valeurs durant la journée. On observe, sur les stations JOI, LIS et BDJ, une augmentation relativement importante des concentrations, en début de matinée, avec deux pics, dont l'un à 9h00 et l'autre vers 20h00, comme sur les profils journaliers de NO₂. Les activités du trafic routier ont une influence prépondérante sur l'évolution des PM10 durant la journée. Toutefois, les concentrations en PM10 demeurent importantes durant la journée et la nuit, en particulier sur les stations LIS et BDJ et MAR, suggérant une contribution d'autres sources de ce polluant.

Au vu de la configuration géographique de ces quatre sites de surveillance, une contribution non négligeable des particules d'origine naturelle (ex. embruns marins ...) dans les PM10 n'est pas à exclure.

Une analyse des roses de pollution, couplée à des analyses chimiques, permettra de déterminer les sources de fines particules impactant ces stations de surveillance.

Roses de pollution en PM10 sur les stations JOI, BDJ et MAR en été :

Suite à des problèmes techniques, les données météorologiques ne sont pas disponibles durant la période d'été sur la station LIS.

La **figure 12** présente les roses de pollution en PM10 sur les stations JOI, BDJ et MAR en été ((du 31/01/2014 au 30/04 et du 01/11 au 25/12/2014).

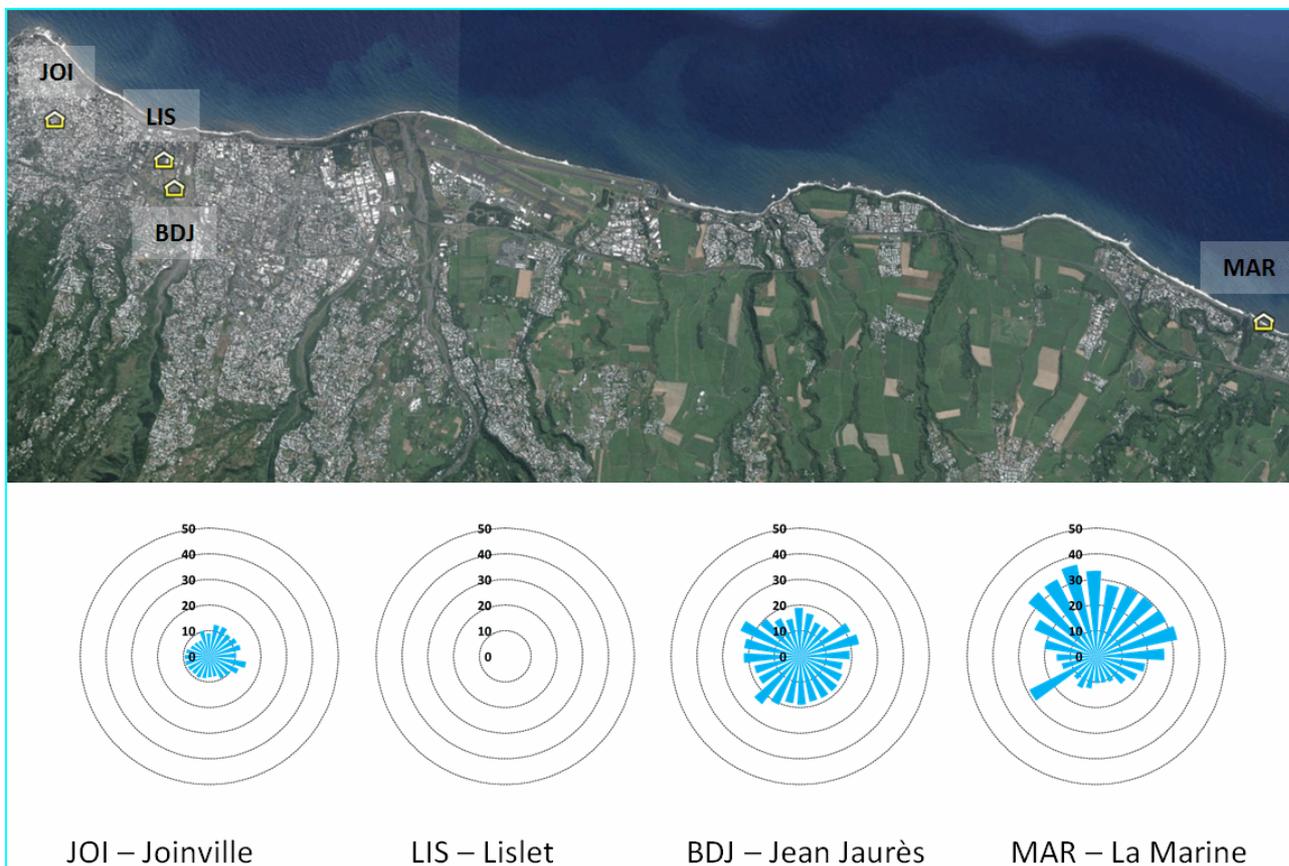


Figure 12 : Roses de pollution en PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$) sur les stations JOI, BDJ et MAR (a) en été (du 31/01/2014 au 30/04 et du 01/11 au 25/12/2014) (Source : ORA / ©2014 Google ; Image ©2014 Digital Globe).

L'analyse des roses de pollution montre qu'en été (cf. **figure 12**), les concentrations les plus élevées en PM10 relevées sur JOI proviennent principalement des secteurs Nord à sud-est ($\sim 350^\circ - 120^\circ$). Au vu de ces directions, la concentration en PM10 relevée sur cette station est due aux émissions du trafic sur les voies principales environnantes mais aussi, en partie, à d'autres sources.

Sur la station BDJ, en été (cf. **figure 12**), les concentrations les plus élevées en PM10 relevées proviennent principalement des secteurs sud-ouest à nord-ouest ($\sim 200^\circ - 310^\circ$) et nord-est ($\sim 60^\circ$). Au vu de ces directions, la pollution en PM10 sur cette zone est due aux activités du trafic sur les voies principales environnantes mais aussi, en partie, à d'autres sources.

Sur la station MAR, en été (cf. **figure 12**), les concentrations les plus élevées en PM10 relevées proviennent essentiellement des secteurs nord-ouest à nord-est ($\sim 330^\circ - 60^\circ$). Au vu de ces directions, la pollution en PM10 sur cette zone est due, en grande partie, aux embruns marins.

Rose de pollution en PM10 sur les stations JOI, LIS, BDJ et MAR en hiver :

La **figure 13** présente la rose de pollution en PM10 sur les stations JOI, LIS, BDJ et MAR en hiver (01/05 au 30/10/2014).

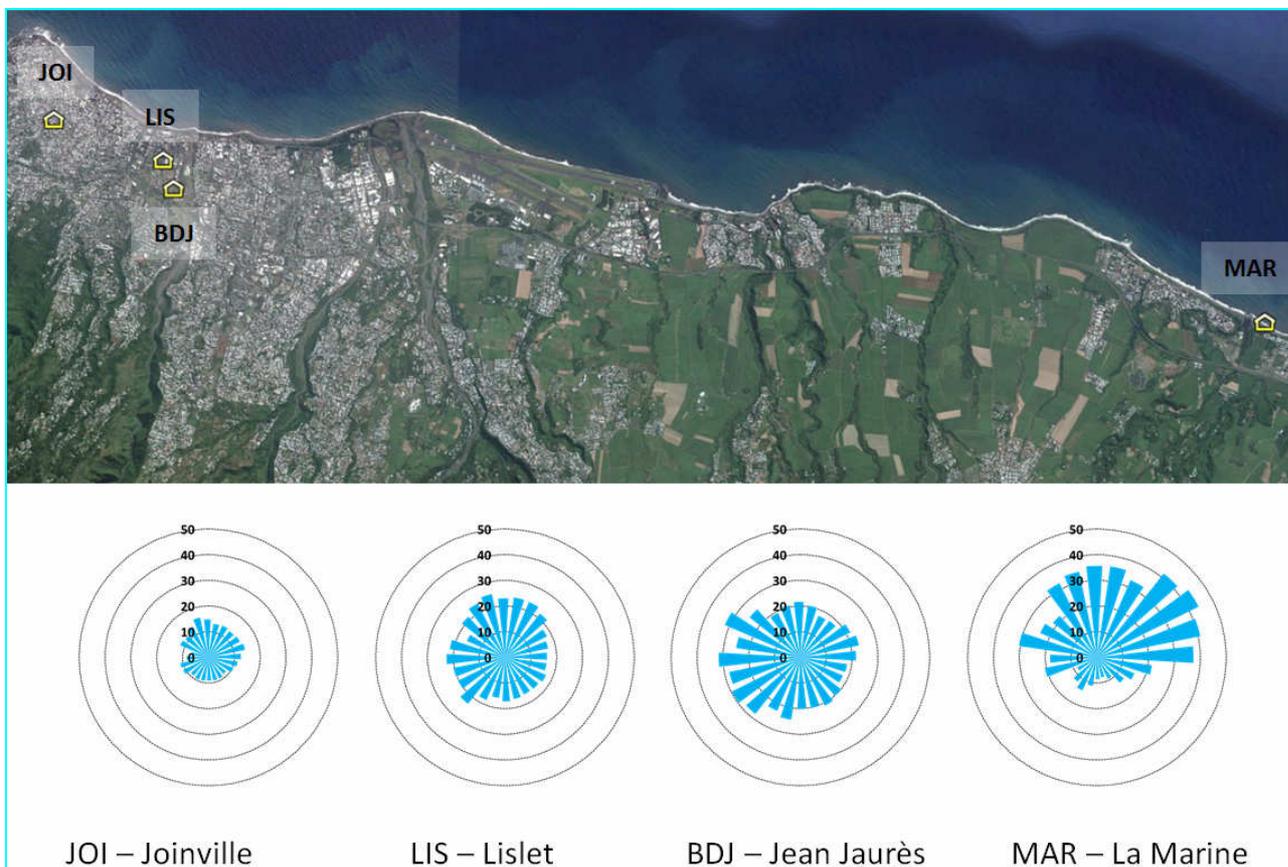


Figure 13 : Rose de pollution en PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$) sur les stations JOI, LIS, BDJ et MAR en hiver (01/05 au 30/10/2014)
(Source : ORA / ©2014 Google ; Image ©2014 Digital Globe).

En hiver (cf. **figure 13**), les concentrations les plus élevées en PM10 relevées sur JOI ont pour origine essentiellement les secteurs nord-ouest à Est ($\sim 330^\circ - 80^\circ$). Au vu de ces directions, la pollution en P M10 sur cette zone est due aux activités du trafic sur les voies principales environnantes mais aussi, en partie, à d'autres sources.

Sur la station LIS, durant l'hiver austral, les concentrations les plus élevées en PM10 proviennent essentiellement des secteurs sud-ouest ($\sim 230^\circ$) et nord-ouest ($\sim 340^\circ$). Au vu de ces directions, la concentration en PM10 sur cette zone est due aux activités du trafic sur les voies principales environnantes mais aussi, en partie, à d'autres sources.

Sur la station BDJ, les concentrations les plus élevées en PM10 relevées proviennent essentiellement des secteurs sud-ouest à nord-ouest ($\sim 210^\circ - 310^\circ$). Au vu de ces directions, la pollution en PM10 sur cette zone est due aux activités du trafic sur les voies principales environnantes mais aussi, en partie, à d'autres sources.

Sur la station MAR, les concentrations les plus élevées en PM10 relevées proviennent essentiellement des secteurs nord-ouest à Est ($\sim 330^\circ - 80^\circ$). Au vu de ces directions, la pollution en PM10 sur cette zone est principalement due aux embruns marins (sels de mer).

c.2. *Relevés des espèces chimiques dans les PM10 obtenus à l'aide des préleveurs actifs*

Parallèlement aux concentrations de PM10 relevées en continu dans l'air ambiant, des prélèvements ont été effectués sur filtres, pour les stations JOI, LIS et BDJ, afin de caractériser les espèces chimiques constituant ces particules fines (PM10). Pour cela, des particules fines ont été prélevées sur des filtres quotidiennement (période d'exposition : 24 h), par rotation, sur les 3 stations JOI, LIS et BDJ, du 1^{er} février 2014 au 25 décembre 2014. **Pour des raisons techniques, ces prélèvements n'ont pas pu être réalisés sur la station MAR en 2014.** Les analyses physico-chimiques sur ces prélèvements, en vue de déterminer la contribution anthropique et celle d'origine naturelle, ont concerné les espèces chimiques suivantes :

- Le carbone élémentaire (EC), appelé aussi « carbone suie » et le carbone organique (OC) ;
- Les espèces ioniques dont les sulfates (SO_4^{2-}), les nitrates (NO_3^-), le chlorure (Cl^-), le sodium (Na^+), le potassium (K^+), le magnésium (Mg^{2+}), le calcium (Ca^{2+}) et l'ammonium (NH_4^+) ;
- Le sel de mer et les poussières crustales.

Les particules fines présentes dans l'air ambiant sont prélevées à l'aide d'un préleveur actif sur des filtres en fibres de quartz (cf. **figure 14**).



Figure 14 : Filtre en fibres de quartz avant et après exposition de 24h sur la station BDJ (**Source** : ORA).

Les aérosols sont globalement émis par des sources naturelles et anthropiques, sous formes primaire et secondaire.

Les émissions primaires étant d'origine naturelle ou anthropique, leurs apports dans la composition des particules fines (PM10) peuvent contribuer aux dépassements de seuils réglementaires de ce polluant.

Les sources naturelles de particules sont majoritairement les embruns marins et les émissions de poussières du sol (crustale). Concernant les émissions anthropiques primaires, celle du carbone élémentaire provient des combustions liées principalement au transport routier.

Les émissions anthropiques sont aussi des sources potentielles en aérosols secondaires tels que les sulfates, les nitrates et les matières organiques.

Les analyses physico-chimiques ont été effectuées afin d'avoir une représentativité moyenne des différentes contributions anthropique et naturelle. Le choix des filtres à analyser s'est fait à partir des critères suivants : un pic de concentration journalière en PM10 $\geq 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ enregistré et selon le jour de semaine. Cependant, au vu des concentrations journalières modérées relevées sur la station JOI, le seuil de sélection pour cette station a été abaissé à $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ afin de pouvoir analyser un nombre suffisant de filtres et de pouvoir comparer les résultats avec les autres stations (LIS et BDJ).

La concentration d'espèces chimiques telles que les sels de mer, la matière organique et les poussières crustales dans les PM10, a été déterminée par des informations fournies dans des travaux nationaux (rapports LCSQA : DRC-10-111579-01718A et DRC-12-126716-0887A) et européens (directive 2008/50/CE, sec(2011) 208).

Les figures 15, 16 et 17 présentent les concentrations journalières de filtres analysés pour les trois stations durant l'année 2014.

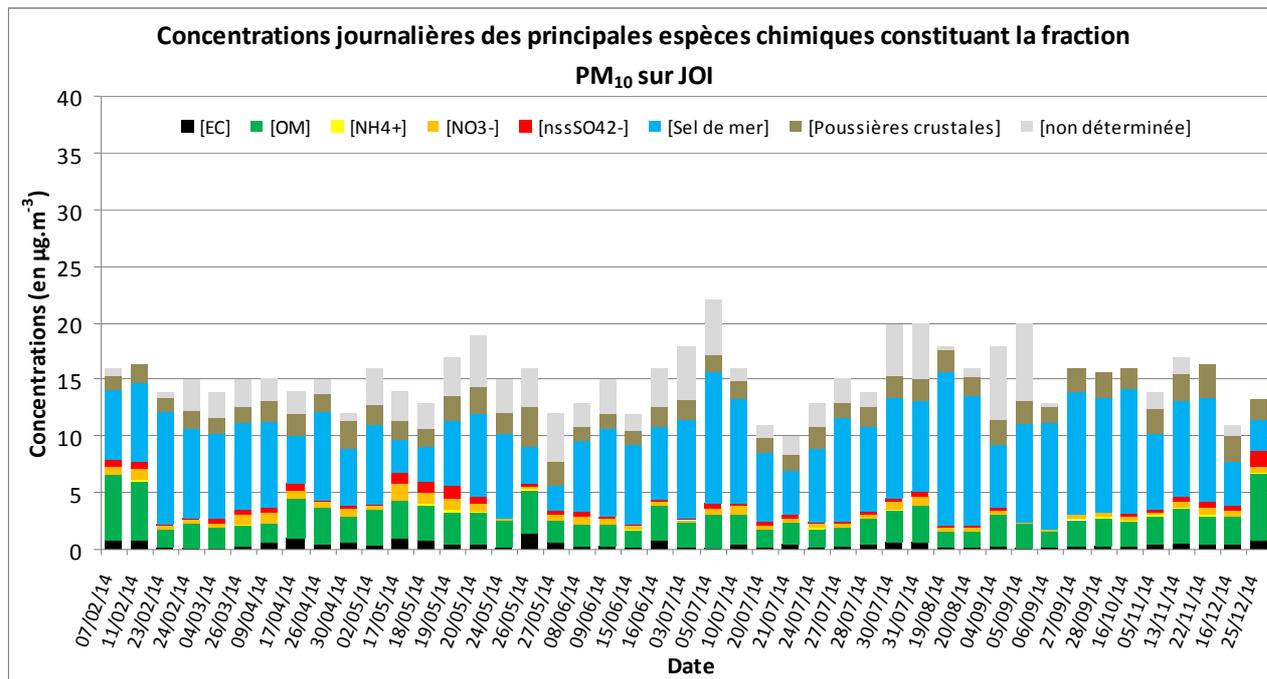


Figure 15 : Concentrations journalières des principales espèces chimiques sur JOI durant l'année 2014.

Sur la station JOI, l'analyse de la composition chimique des PM10 met en évidence une contribution importante des apports naturels, comprenant le sel de mer provenant des embruns marins et une partie des poussières crustales soulevées par le vent dans l'environnement proche de la station (cf. figure 15). Globalement, le sel marin représente ~48% dans les PM10 sur cette station. Les apports de $nssSO_4^{2-}$, NO_3^- et NH_4^+ dans les PM10 sont très faibles (~6%). Concernant la composante carbonée (EC et OM) dans les PM10 (~20%), on observe une part plus importante des matières organiques (OM), ayant pour origine essentiellement le trafic routier et, en partie d'origine naturelle (biogénique), sur cette station urbaine de fond.

La figure 16 présente les concentrations journalières des principales espèces chimiques déterminées dans les PM10 sur la station LIS en 2014.

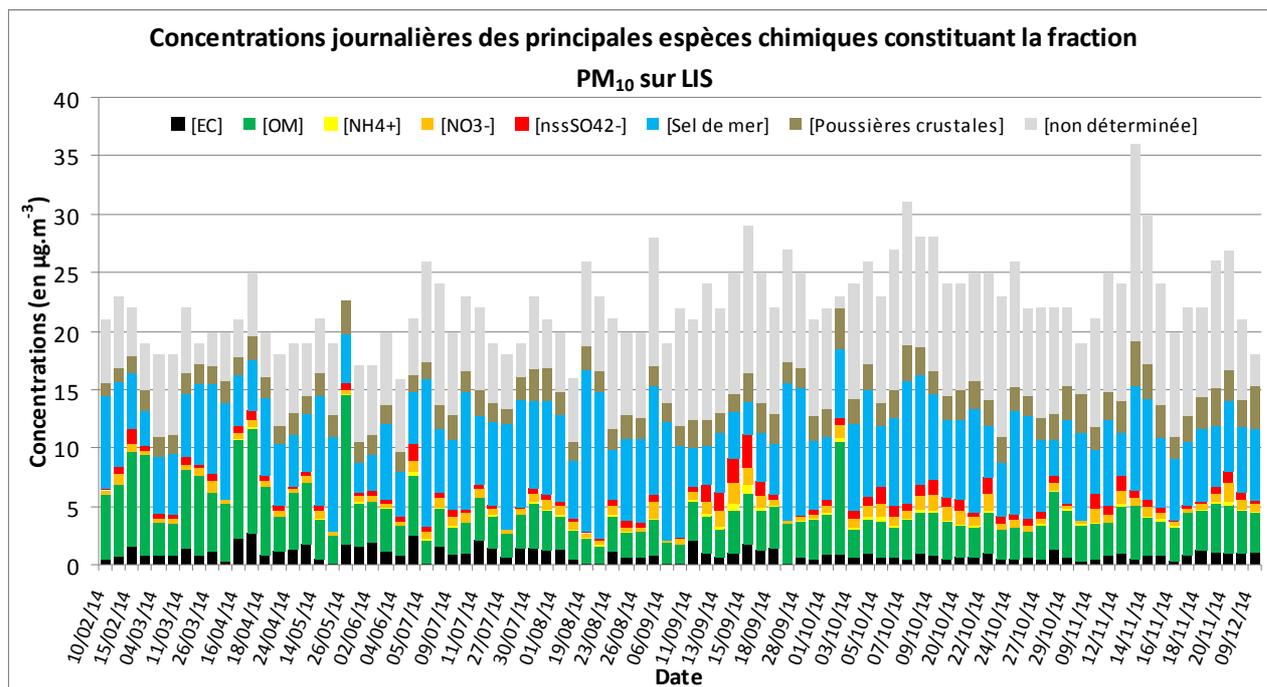


Figure 16 : Concentrations journalières des principales espèces chimiques sur LIS durant l'année 2014.

Sur la station LIS, les fractions les plus importantes de PM10 sont le sel de mer (~29%), provenant essentiellement des secteurs Nord à nord-est (cf. figures 12 et 13) et la composante carbonée (EC et OM) représentant ~21%. La proportion de carbone élémentaire (EC), traceur de la pollution du trafic est modérée, avec une concentration moyenne de ~1 µg/m³. La matière organique (OM) représente une part relativement plus importante, avec une concentration moyenne de ~3.8 µg/m³. La station LIS étant localisée en zone urbaine, les espèces chimiques telles que les composés organiques volatils peuvent être émis lors des combustions incomplètes (ex. transport routier), constituant ainsi un apport majeur en matières organiques dans les PM10. Toutefois, un apport d'une source naturelle n'est pas à exclure, avec l'envol de matières organiques (ex. débris des végétaux, pollens ...). La part des espèces secondaires : nssSO₄²⁻, NO₃⁻ et NH₄⁺, relevée sur la station LIS est faible (~6%).

La figure 17 présente les concentrations journalières des principales espèces chimiques déterminées dans les PM10 sur la station BDJ en 2014.

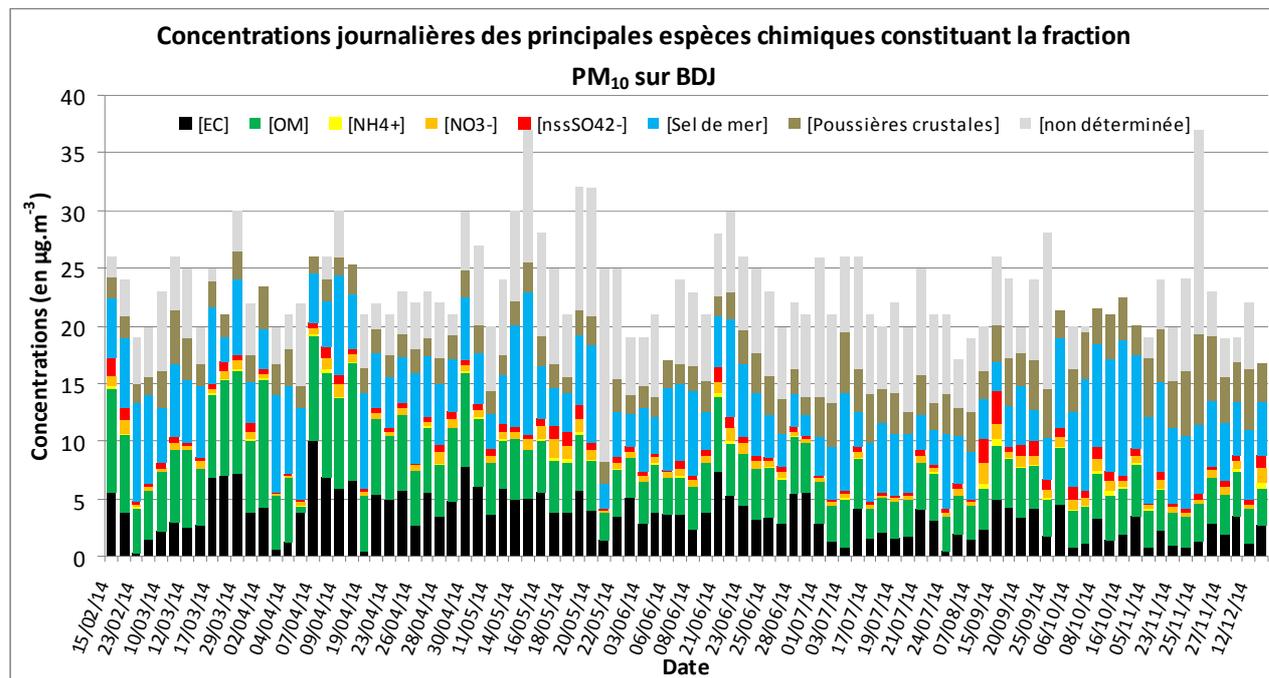


Figure 17 : Concentrations journalières des principales espèces chimiques sur BDJ durant l'année 2014.

Sur la station BDJ, on relève des concentrations plus importantes en matière organique (OM) et carbone élémentaire (EC) par rapport à celles relevées sur JOI et LIS (cf. figures 12 et 13). Étant sous l'influence directe du trafic routier, ces fortes concentrations montrent que les activités journalières du transport impactent fortement cette station 'de proximité trafic'. La contribution de la matière organique (OM) est, en moyenne, de ~4.7 µg/m³, correspondant à une part importante (~20%) dans les PM10 relevées. La contribution des espèces chimiques secondaires, traceurs de l'activité anthropique, tels que les sulfates non marins (nssSO₄²⁻), les nitrates (NO₃⁻) et l'ammonium (NH₄⁺), est faible (~6%) dans la masse totale des PM10. Quant aux apports d'origine naturelle, ils sont majoritaires, dont une prépondérance du sel de mer, avec une concentration moyenne de ~7 µg/m³, soit une contribution de ~24% dans les PM10. On relève également un apport en poussières crustales, avec une concentration moyenne de ~3 µg/m³ (soit ~ 12%) dans les PM10. Ces poussières sont d'origines anthropique (ex. circulation des véhicules) et naturelle (ex. envols aux abords du skate parc et terrains vagues environnants), et peuvent notamment être remobilisées dans l'air ambiant sous l'effet du vent.

La **figure 18** présente la composition chimique moyenne, en pourcentage, des particules PM10 relevée sur les stations JOI, LIS et BDJ durant l'année 2014.

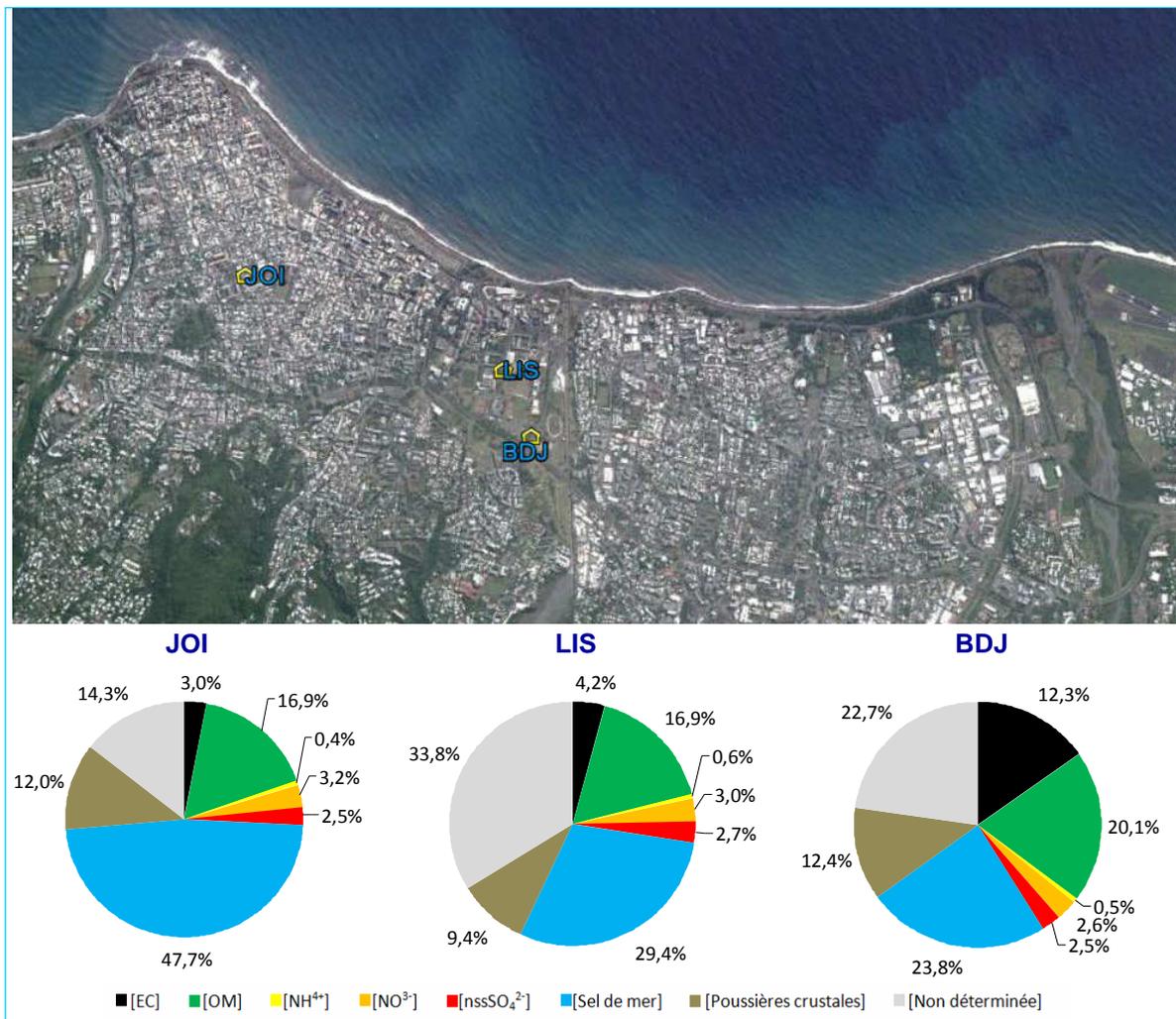


Figure 18 : Composition chimique moyenne (en %) des PM10 échantillonnées sur JOI, LIS et BDJ durant l'année 2014.

Au vu de la composition chimique moyenne relevée sur les stations JOI, LIS et BDJ, la fraction des PM10 sur ces zones est globalement sous l'influence de deux contributions prépondérantes. En effet, on note d'une part, une contribution naturelle notable du sel de mer, avec des proportions moyennes de ~24 à 48% relevées dans les particules fines (PM10), suivant la configuration géographique de la station. D'autre part, la proportion d'autres sources d'origine naturelle (poussières crustales) dans les PM10 varie entre ~9 et 12% suivant le site. Ainsi, la contribution des particules d'origine naturelle (sel de mer et poussières terrigènes) relevée dans les PM10 sur l'agglomération de Saint-Denis varie entre ~33 et 60% suivant le site.

On constate par ailleurs, une contribution anthropique assez importante de la matière carbonée (EC et OM), représentant entre ~20 et 35% des particules fines (PM10), suivant la localisation de la station. Ainsi, au vu de la typologie des stations investiguées (stations JOI et LIS : urbaine de fond et station BDJ : proximité trafic), il apparaît que le transport routier est la principale source de particules carbonées (cf. **figures 8 et 9**). En ce qui concerne les différentes espèces secondaires, qui sont des traceurs des activités anthropiques (sulfates, nitrates et ammonium), leur présence est faiblement représentée dans la composition chimique des PM10, soit de l'ordre de 6%.

Cependant, sur les stations JOI, LIS et BDJ, un pourcentage important (~14 à 34%, suivant la station) des particules fines sont non déterminées.

Conclusion

L'objectif de cette surveillance était de caractériser, comme préconisé par le programme **CARA**, les espèces chimiques principales de la fraction des PM10 afin d'évaluer les contributions anthropique et naturelle sur l'agglomération de Saint-Denis.

Du 31 janvier au 25 décembre 2014, l'ORA a réalisé la surveillance atmosphérique sur quatre stations de mesures localisées sur les communes de Saint-Denis et Sainte-Suzanne : Joinville (JOI), Lislet Geoffroy (LIS) et Boulevard Jean Jaurès (BDJ) et La Marine (MAR).

À l'aide d'analyseurs automatiques et de préleveurs actifs, les concentrations en NO₂, PM10 ont été relevées sur LIS, JOI, BDJ et MAR. Les espèces chimiques suivantes : (SO₄²⁻), (NO₃⁻), (Cl⁻), (Na⁺), (K⁺), (Mg²⁺), (Ca²⁺) et (NH₄⁺), le carbone élémentaire (EC) et le carbone organique (OC) ont été relevées sur LIS, JOI et BDJ. Les concentrations de sel de mer, des sulfates non marins (nssSO₄²⁻) et des poussières crustales présents dans les PM10 prélevés sur filtres ont également été calculées sur ces stations.

Au vu des résultats de cette surveillance, il apparaît, pour les PM10, que les valeurs réglementaires ont été respectées durant la période de mesures, ceci sur les 3 stations de Saint-Denis.

En revanche, sur la station MAR, les dépassements suivants ont été constatés :

- un dépassement du seuil d'information et de recommandation, enregistré le 06/02/2014 ;
- un dépassement de la valeur limite journalière pour la protection de la santé humaine (à ne pas dépasser plus de 35 fois par an), enregistré le 06/02/2014.

La caractérisation physico-chimique des particules a permis d'évaluer la présence d'espèces chimiques prépondérantes dans les PM10. En effet, ces stations sont d'une part, sous l'influence d'une contribution d'embruns marins, représentant une part de ~24 à 48% dans les PM10, suivant la station.

Cette hypothèse se confirme par une corrélation entre la distance des stations à la mer et le pourcentage de sels de mer enregistré sur celles-ci.

On note aussi une contribution des poussières crustales, également d'origine naturelle, variant entre ~9 et 12% dans les PM10 suivant le site.

Globalement, sur l'agglomération de Saint-Denis, la contribution des particules d'origine naturelle (sel de mer et poussières terrigènes) dans les PM10 varie entre ~33 et 60% suivant le site.

D'autre part, elles sont également constituées des espèces chimiques telles que le carbone élémentaire et le carbone organique, issus des activités humaines, soit essentiellement le trafic routier, représentant ~20 à 35% des PM10, suivant la station.

Egalement, cette hypothèse se confirme par une corrélation entre la distance des stations aux voies à fort trafic et le pourcentage de carbone élémentaire (EC) enregistré sur celles-ci.

En conclusion, la part des particules fines d'origine naturelle (embruns marins et poussières crustales) et anthropique (essentiellement le trafic routier) caractérisées dans les PM10 sur Saint-Denis est résumée ci-après :

Station	Moyenne des PM10 (µg/m ³)	% des PM10 d'origine naturelle	% des PM10 d'origine anthropique	% des PM10 indéterminé
JOI	15	60	26	14
LIS	22	39	27	34
BDJ	23	37	40	23

Une étude complémentaire sera lancée en 2016 afin de caractériser les espèces chimiques constituant les particules fines (PM10) sur la station MAR, selon le protocole établi dans la présente étude.

Enfin, une analyse des espèces chimiques sur une période plus étendue, et en prenant en compte d'autres espèces (ex. métaux lourds, COV ...), permettrait de quantifier les espèces présentes et d'évaluer leur contribution dans le bilan de masse totale des PM10.

Au vu des résultats de cette surveillance, il apparaît, pour le NO₂, que les valeurs réglementaires ont été respectées durant la période de mesures, ceci sur les quatre stations surveillées.

Concernant la surveillance des NO_x, qui s'est faite durant cette étude, le niveau critique pour la protection de la végétation a été dépassé sur la station BDJ en 2014.