



Association Calédonienne de
Surveillance de la Qualité de l'Air

Campagne de mesure par échantillonnage passif
et comparaison des méthodes d'échantillonnage,
SO₂/NO₂ sur la ville de Nouméa
Période 2015 à 2017



Rapport d'étude – Septembre 2018



Seal Air

Conditions de diffusion

Scal'Air est l'association de surveillance de la qualité de l'air en Nouvelle-Calédonie. Elle a pour mission principale la surveillance de la qualité de l'air et l'information du public et des autorités compétentes, par la publication de résultats sous forme de communiqués, bulletins, rapports et indices quotidiens.

À ce titre et compte tenu de son objet statutaire à but non lucratif, Scal'Air se veut garante de la transparence de l'information concernant ses données et rapports d'études.

Toute utilisation partielle ou totale de ce document est libre, et doit faire référence à l'association Scal'Air et au titre du présent rapport.

Les données contenues dans ce rapport restent la propriété de Scal'Air.

Les données corrigées ne seront pas systématiquement rediffusées en cas de modifications ultérieures.

Scal'Air ne peut en aucune façon être tenue responsable des interprétations, travaux intellectuels, publications diverses résultant de ses travaux pour lesquels l'association n'aurait pas donné d'accord préalable.

Intervenants

- *Intervenants techniques :*
 - Supervision technique : Alexandre TCHIN
 - Assistance technique : Claire CHERON, Nicolas MARION

- *Intervenants études :*
 - Rédaction rapport / coordination : Tatiana TCHONG-FAT, (Raphaëlle HUTH 2014)
 - Tiers examens du rapport : Sylvain GLEYE, Sarah DUPUY
 - Approbation finale : Alexandra MALAVAL-CHEVAL

Sommaire

Sommaire.....	4
Liste des figures	5
Liste des tableaux.....	5
Glossaire	6
1. Introduction	7
2. Contexte de l'étude.....	8
2.1. Les polluants étudiés.....	8
2.2. La réglementation.....	8
2.2.1. La réglementation européenne et française.....	8
2.2.2. La réglementation en Nouvelle-Calédonie.....	8
2.3. Valeurs réglementaires françaises.....	9
2.4. Historique du traitement de données	9
2.5. Objectifs du rapport	11
2.5.1. Suivi des polluants	11
2.5.2. Inter-comparaison <i>Passam AG VS Radiello</i>	11
3. Mise en œuvre de la campagne	12
3.1. Le matériel d'échantillonnage	12
3.2. Les limites	13
3.3. Stratégie d'échantillonnage	13
3.3.1. Les périodes de mesures.....	13
3.3.2. Les sites de mesures	14
4. Paramètres météorologiques.....	16
4.1. Directions et vitesses des vents.....	16
4.2. Température, pluviométrie, hygrométrie.....	18
5. Résultats et interprétations.....	19
5.1. Correction des données.....	19
5.1.1. Modalités de correction des données issues des tubes <i>Passam</i>	19
5.1.2. Modalités de correction des données issues des tubes <i>Radiello</i>	20
5.2. Qualité de la mesure.....	20
5.2.1. Analyse des tubes passifs « blancs »	20
5.2.2. Dupliquas de tubes passifs et intercomparaison des tubes <i>Passam</i> et <i>Radiello</i>	21
5.2.3. Comparaison avec les analyseurs.....	23
5.3. Le dioxyde de soufre (SO ₂).....	24
5.4. Le dioxyde d'azote (NO ₂)	30
5.5. Historique des concentrations SO ₂ /NO ₂ 2009-2017	34
6. Conclusion	36
7. Annexe	38
8. Références bibliographiques	41

Liste des figures

Figure 1 : Répartition géographique des sites de mesure par tubes passifs sur la ville de Nouméa (campagne 2015 à 2017)	15
Figures 2 à 7 : Roses des vents rencontrés lors des campagnes de mesures	16
Figure 8 : Précipitations, température et humidité relative recensées lors des campagnes de mesures SO ₂ et NO ₂	18
Figure 9 : Répartition des classes d'écarts-relatifs (ER en %) entre les doublons des tubes passifs Radiello et Passam.....	22
Figure 10 : Corrélation entre les mesures fournies par tubes passifs Passam et Radiello pour le prélèvement du SO ₂ (à gauche) et du NO ₂ (à droite).....	22
Figure 11 : Corrélation entre les mesures fournies par tubes passifs et par les analyseurs automatiques sur la même période d'échantillonnage pour le prélèvement du SO ₂ (à gauche) et du NO ₂ (à droite)	23
Figure 12 : Répartition des classes de concentrations moyennes en SO ₂ par année de 2015 à 2017 (a) et par saison (b)	25
Figure 13 : Concentrations moyennes en SO ₂ relevées par tube passif et analyseur, par typologie de site, par saison et par année en (µg/m ³).....	25
Figure 14 : Concentrations en SO ₂ par site de mesure, par saison et par année (2015-2017) en (µg/m ³)	27
Figure 15 : Concentrations moyennes en SO ₂ en été (gauche) et en hiver (droite) de 2015 à 2017 sur la ville de Nouméa (en µg/m ³).....	29
Figure 16 : Répartition des classes de concentrations moyennes en NO ₂ entre 2015 et 2017 (à gauche) et par saison (à droite) .	30
Figure 17 : Concentrations moyennes de NO ₂ relevée par tube passif et analyseur, par typologie de site, par saison et par année (µg/m ³).....	31
Figure 18 : Concentrations en NO ₂ par site de mesure, par année et par saison (en µg/m ³)	32
Figure 19 : Concentrations moyennes en NO ₂ en été (gauche) et en hiver (droite) 2015 à 2017 sur la ville de Nouméa (en µg/m ³)	33
Figure 20 : Étendue des concentrations en SO ₂ relevées au cours des campagnes de 2009 à 2017	34
Figure 21 : Étendue des concentrations de NO ₂ relevées au cours des campagnes de 2009 à 2017	34

Liste des tableaux

Tableau 1 : Normes de qualité de l'air par polluant	9
Tableau 2 : Caractéristiques des tubes passifs	12
Tableau 3 : Périodes de mesures	13
Tableau 4 : Liste des sites de mesures et polluants mesurés.....	14
Tableau 5 : Écart-type moyen obtenu par polluant et par marque de tube passif	21
Tableau 6 : Caractéristiques avantageuses des dispositifs de mesures	24
Tableau 7 : Sites ayant eu des valeurs de concentrations en SO ₂ supérieures à 5 µg/m ³	28

Glossaire

$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Microgramme par mètre cube ($1 \mu\text{g} = 10^{-6} \text{ g}$)
m/s	Mètre par seconde
[NO ₂]	Concentration du polluant indiqué (<i>i.e.</i> NO ₂)
NO ₂	Dioxyde d'azote
SO ₂	Dioxyde de soufre
AV	Station de mesures de l'Anse Vata
FB	Station de mesures du Faubourg Blanchot
LGC	Station de mesures de Logicoop
MTR	Station de mesures de Montravel
DV	Direction de vent
ER	Écart-relatif
MF	Météo France
Air ambiant	Air extérieur de la troposphère, à l'exclusion des lieux de travail tels que définis à l'article R. 4211-2 du code du travail
Objectif de qualité	Niveau à atteindre à long terme et à maintenir, sauf lorsque cela n'est pas réalisable par des mesures proportionnées, afin d'assurer une protection efficace de la santé humaine et de l'environnement dans son ensemble
Seuil d'alerte	Niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé de l'ensemble de la population ou de dégradation de l'environnement, justifiant l'intervention de mesures d'urgence
Seuil d'information et de recommandation	Niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine de groupes particulièrement sensibles au sein de la population et qui rend nécessaires l'émission d'informations immédiates et adéquates à destination de ces groupes et des recommandations pour réduire certaines émissions
Valeur cible	Niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou sur l'environnement dans son ensemble, à atteindre, dans la mesure du possible, dans un délai donné
Valeur limite	Niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère fixée sur la base des connaissances scientifiques à ne pas dépasser dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de ces substances sur la santé humaine ou sur l'environnement dans son ensemble

1. Introduction

Scal'Air, association de surveillance de la qualité de l'air en Nouvelle-Calédonie, assure le suivi de la qualité de l'air à Nouméa depuis 2007. Seules les réglementations provinciales des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) fixent des prescriptions applicables à la surveillance de la qualité de l'air autour de certains sites industriels. En l'absence de réglementation générale locale en matière de qualité de l'air, le dispositif de surveillance de Scal'Air se base sur les réglementations européennes.

Chaque année depuis 2009, Scal'Air mène un suivi des concentrations en dioxyde de soufre (SO₂) et en dioxyde d'azote (NO₂) sur la ville de Nouméa. Ces gaz sont émis en conséquence directe des activités industrielle et routière, dont l'impact constitue un des enjeux de la qualité de l'air.

Les prélèvements se font grâce à des tubes passifs, qui réagissent avec ces polluants, exposés durant une semaine dans les différents quartiers de l'agglomération.

L'analyse des campagnes (2009 - 2014) a mis en évidence un effet de saisonnalité des concentrations en NO₂ et du SO₂ sur la zone d'étude. Afin de confirmer et de suivre ces influences saisonnières, Scal'Air effectue deux campagnes par an depuis 2013, soit une série de mesures en hiver et une autre en été. Dans la perspective de suivi, la base du plan d'échantillonnage est conservée à chaque campagne.

Le présent rapport d'étude se propose d'exploiter les données des campagnes biannuelles de 2015 à 2017 et d'observer l'évolution des concentrations ambiantes depuis les premières campagnes.

2. Contexte de l'étude

2.1. Les polluants étudiés

Les présentes campagnes visent à mesurer les niveaux de dioxyde de soufre (SO₂) et de dioxyde d'azote (NO₂) dans l'air ambiant sur la ville de Nouméa.

Sur Nouméa, le SO₂ est essentiellement un traceur d'activité industrielle et notamment du site industriel de Doniambo tandis que le NO₂ provient principalement des émissions dues au trafic routier. Pour plus d'informations sur les polluants, consultez les fiches polluants disponibles sur le site internet www.scalair.nc ou en cliquant directement sur les images ci-contre.



2.2. La réglementation

2.2.1. La réglementation européenne et française

La directive 2008/50/CE du 21 mai 2008 relative à la qualité de l'air ambiant et à un air pur pour l'Europe constitue le socle réglementaire et encadre notamment le NO₂ et le SO₂.

En métropole, la surveillance de la qualité de l'air est principalement encadrée par la loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie du 30 décembre 1996 n°96-1236, couramment appelée « loi LAURE », ainsi que ses arrêtés et circulaires d'application.

La transposition de la directive 2008/50/CE en droit français est formalisée par le décret n°2010-1250 du 21 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air et l'arrêté du 19 avril 2017 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air ambiant.

2.2.2. La réglementation en Nouvelle-Calédonie

À ce jour, les réglementations citées ci-dessus ne sont pas applicables en Nouvelle-Calédonie, et jusqu'en début 2017 il n'existait pas de cadre réglementaire local et général sur la qualité de l'air ambiant. Le Congrès de la Nouvelle-Calédonie a adopté la délibération n°219 du 11 janvier 2017 relative à l'amélioration de la qualité de l'air ambiant, qui servira de socle réglementaire notamment au travers de l'adoption d'arrêtés.

En 2016, seules les réglementations provinciales des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE), fixent des prescriptions applicables à la surveillance de la qualité de l'air autour de certains sites industriels. Pour le NO₂, et le SO₂ les valeurs de référence décrites dans l'arrêté 11387-2009/ARR/DIMENC (relatif à la SLN), sont identiques à celles définies par les réglementations européennes et métropolitaines.

2.3. Valeurs réglementaires françaises

Le tableau ci-dessous présente les valeurs de référence métropolitaine (décret n°2010-1250) retenues par Scal'Air pour le suivi de la qualité de l'air concernant le NO₂ et le SO₂ en attendant l'arrêté Calédonien.

Tableau 1 : Normes de qualité de l'air par polluant

Polluants	SO ₂	NO ₂
Seuil d'information/ recommandation	<u>En moyenne horaire</u> : 300 µg/m ³	<u>En moyenne horaire</u> : 200 µg/m ³
Seuil d'alerte	<u>En moyenne horaire sur 3 heures consécutives</u> : 500 µg/m ³	<u>En moyenne horaire sur 3 heures consécutives</u> : 400 µg/m ³
Valeur limite	<u>En moyenne journalière</u> : 125 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 3 jours par an.	<u>En moyenne horaire</u> : 200 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 18 heures par an.
	<u>En moyenne horaire</u> : 350 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 24 heures par an.	
Objectif de qualité	<u>En moyenne annuelle</u> : 50 µg/m ³	<u>En moyenne annuelle</u> : 40 µg/m ³

2.4. Historique du traitement de données

Dans une perspective d'amélioration continue, Scal'Air a procédé à plusieurs méthodes d'analyses de ses données issues de l'échantillonnage passif du dioxyde d'azote et du dioxyde de soufre sur l'agglomération de Nouméa entre 2009 et 2014.

- ✓ Guide pour l'analyse des résultats par échantillonnage passif

Il n'existe pas de méthode statistique largement acceptée par la communauté scientifique pour valider les données brutes de terrain et seule l'expertise humaine peut permettre la validation finale. Néanmoins, certaines méthodes peuvent servir de guide à la décision.

L'harmonisation du protocole d'échantillonnage du dioxyde d'azote définie par l'ADEME –LCSQA en 2002, préconise entre autres d'appliquer des corrections aux valeurs brutes, en ayant recours aux mesures automatiques ou aux formules de corrections conseillées par le fournisseur du matériel.

- ✓ Historique du protocole d'analyse des valeurs brutes effectué par Scal'Air

En 2009 et 2010, Scal'Air appliquait aux données brutes une correction déterminée à l'aide des mesures relevées par les analyseurs automatiques afin de les ajuster et de s'approcher des concentrations telles qu'elles auraient été obtenues par les analyseurs. Cependant, l'incertitude et les écarts de concentrations étaient parfois importants, notamment pour les valeurs faibles (surestimation des niveaux de NO₂ et de SO₂ par les échantillonneurs) ; écarts également identifiés dans la littérature.

Le retour d'expérience sur les trois campagnes de mesures de 2009, 2010 et 2011¹ a donc montré les limites de la méthode de correction appliquée. Le biais aléatoire induit rendait les séries de données incomparables d'une année à l'autre. **À partir de 2011**, cette méthode de correction n'a donc plus été appliquée, et les interprétations se basaient sur les données brutes obtenues par tubes passifs. Le rapport de 2011 a d'ailleurs fait une analyse rétrospective sur les précédentes campagnes par échantillonnage passif sur Nouméa de 2009 à 2013.

- ✓ Étude de l'ASPA requiert des données interoperables

En 2012, l'ASPA (Association pour la Surveillance et l'étude de la Pollution Atmosphérique en Alsace) a réalisé, dans le cadre du « Projet d'étude air et santé sur l'aire urbaine de Nouméa », une analyse statistique exploratoire des données de mesures NO₂/SO₂ par tubes passifs sur Nouméa de 2009 à 2012.²

L'objectif étant de spatialiser les données de pollution atmosphérique à l'échelle annuelle, il a fallu au préalable harmoniser les méthodes de traitement des données. L'ASPA a donc appliqué son mode de correction, en accord avec les recommandations décrites dans le guide de l'ADEME - LCSQA « *échantillonneurs passifs pour le dioxyde d'azote* »³, aux valeurs brutes (effectuées avec des tubes *Passam AG*).

La réalisation de campagnes biannuelle, dès 2013, ciblant chacune les deux saisons (hiver et été) fait suite aux préconisations de cette étude.

- ✓ Traitement actuel des données

Il s'avère donc nécessaire d'apporter des corrections aux valeurs brutes issues des mesures par tubes passifs et de les standardiser (ou normaliser). Cela permet de confronter les campagnes les unes aux autres, ainsi que de les comparer aux campagnes nationales.

Le présent rapport traite des données issues de deux types de tubes passifs différents. Scal'Air a appliqué les protocoles de correction des données respectifs à chaque fournisseur de tubes.

Ainsi l'ensemble des résultats présentés dans ce rapport est corrigé.

2.5. Objectifs du rapport

2.5.1. Suivi des polluants

Ces campagnes de mesures s'inscrivent dans le cadre du suivi des polluants sur l'agglomération. Il s'agit d'évaluer l'évolution des concentrations ambiantes en dioxyde d'azote et dioxyde de soufre par rapport aux années précédentes.

2.5.2. Inter-comparaison *Passam AG VS Radiello*

Scal'Air utilise des échantillonneurs (tubes) passifs pour le suivi ponctuel des polluants sur la ville de Nouméa. Depuis ses débuts jusqu'en 2015, Scal'Air collaborait avec le laboratoire suisse *Passam AG*. L'obtention de valeurs aberrantes pour le dioxyde de soufre en 2014 a conduit Scal'Air à prospecter d'autres fournisseurs de tubes passifs.

Les tubes passifs de type *Radiello* fournis par le laboratoire italien *Fondazione Salvatore Maugeri* disposent de deux éléments attractifs : (1) une incertitude théorique plus faible, (2) propose des tubes individuels pour un suivi spécifique du NO₂ ou du SO₂, ou bien des tubes capables de prélever les deux polluants en même temps*.

*En fonction de la typologie des sites de mesures, l'intérêt porte sur le SO₂, le NO₂ ou les deux en même temps.

En 2015, afin de mieux évaluer la pertinence d'un changement de fournisseur, Scal'Air a réalisé une étude comparative en disposant sur chaque point de mesures des tubes des deux marques. Entre autres, chaque point de mesures a fait l'objet de doublon pour chaque type de tube afin d'étudier la fiabilité et plus précisément la répétabilité des dispositifs.

En 2016 et 2017, Scal'Air a uniquement disposé des tubes *Radiello*.

3. Mise en œuvre de la campagne

3.1. Le matériel d'échantillonnage

Le tableau suivant dresse les caractéristiques des deux types de tubes passifs.

Tableau 2 : Caractéristiques des tubes passifs

<u>Marque de tubes</u>	<i>Passam AG</i>	<i>Radiello</i>
<u>Présentation</u>	 <p>Dispositif de mesures passives du SO₂ (gauche) et du NO₂ (droite) à l'aide des tubes <i>Passam AG</i>.</p>	 <p>Dispositif de mesures passives du SO₂ et du NO₂ à l'aide des tubes <i>Radiello</i>.</p>
<u>Principe</u>	<p>La mesure d'un polluant par échantillonnage passif est basée sur le principe de la diffusion passive de molécules de polluants à travers une couche d'air délimitée par un tube jusqu'à un support adsorbant contenant le réactif chimique.</p> <p>La quantité de molécules piégées sur l'adsorbant est proportionnelle à sa concentration dans l'air ambiant. Les supports adsorbants sont ensuite analysés en laboratoire et donnent une concentration moyenne sur l'ensemble de la période d'exposition (valeurs en µg/m³).</p>	
<u>Avantage du principe</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Possibilité d'utilisation en grand nombre - Simplicité de mise en œuvre (autonomie de fonctionnement, aucun calibrage nécessaire sur le terrain) - Facilité de transport - Faible coût 	
<u>Diffusion</u>	Axiale	Radiale
<u>Cartouche</u>	Chaque polluant dispose de sa propre cartouche.	Le NO ₂ et le SO ₂ peuvent être prélevés par des cartouches individuelles ou par une seule et même cartouche selon les besoins.
<u>Incertitude de mesure</u>	<ul style="list-style-type: none"> - NO₂ : 19% - SO₂ : 25% 	<ul style="list-style-type: none"> - NO₂ : 11.9 % - SO₂ : 9.2%

3.2. Les limites

Les tubes passifs fournissent une concentration moyenne sur une période donnée mais ne permettent pas de suivre les données en continue et d'évaluer la pollution de pointe.

Le prélèvement passif est tributaire des conditions météorologiques. L'absorption et donc les résultats dépendent de la vitesse du vent, de la température et de l'humidité. Les campagnes de mesures sont uniquement représentatives de la période mesurée et se limitent aux sites de prélèvement.

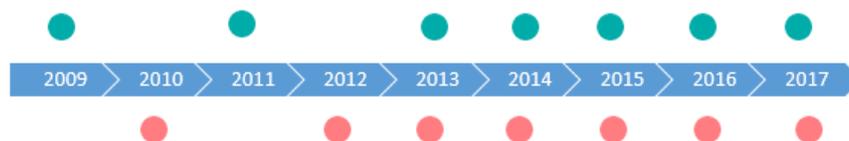
3.3. Stratégie d'échantillonnage

3.3.1. Les périodes de mesures

Les campagnes de mesures de SO₂ et de NO₂ durent 7 jours et sont effectuées deux fois par an (saison fraîche/chaude) depuis 2013 afin de suivre la saisonnalité des résultats.

Tableau 3 : Périodes de mesures

Année	Périodes de mesures		Matériel
	Saison chaude	Saison fraîche	
2009	-	11 au 18 juin	<i>Passam AG</i>
2010	19 au 26 février	-	<i>Passam AG</i>
2011	-	8 au 15 juin	<i>Passam AG</i>
2012	15 au 22 février	-	<i>Passam AG</i>
2013	27 février au 06 mars	20 au 27 juin	<i>Passam AG</i>
2014	19 au 26 mars	23 au 30 juin	<i>Passam AG</i>
2015		27 mai au 03 juin	<i>Passam AG + Radiello</i>
2015	25 novembre au 02 décembre		<i>Passam AG</i>
2016	20 au 27 avril	10 au 17 août	<i>Radiello</i>
2017	19 au 26 juillet	15 au 22 novembre	<i>Radiello</i>



3.3.2. Les sites de mesures

Tableau 4 : Liste des sites de mesures et polluants mesurés

Code unique	Nom commun	Typologie	2015 Mai	2015 Novembre	2016 Avril	2016 Août	2017 Juillet	2017 Novembre
AE	CHT Raoul Follereau	Industrielle	SO ₂	-	SO ₂	-	-	-
AG	Ecole Griscelli	Industrielle	SO ₂	-	SO ₂	SO ₂	SO ₂	SO ₂
AK	Lycée Jules Garnier	Industrielle	SO ₂	-	SO ₂	SO ₂	SO ₂	SO ₂
AN	Ndu - terrain cricket	Industrielle	SO ₂	-	SO ₂	SO ₂	SO ₂	SO ₂
AT	R. S. Charlotte - Logicoop	Industrielle	SO ₂	-	SO ₂	SO ₂	SO ₂	SO ₂
BA	Rue Audrain	Industrielle	SO ₂	-	SO ₂	SO ₂	SO ₂	SO ₂
BB	Rue Coudelou	Industrielle	SO ₂	-	SO ₂	SO ₂	SO ₂	SO ₂
BD	Sénat coutumier	Industrielle	SO ₂	-	SO ₂	SO ₂	SO ₂	SO ₂
AA	Av James Cook	Industrielle	SO ₂ / NO ₂	NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂	-	SO ₂ / NO ₂
AJ	IRN Hippodrome	Industrielle	SO ₂ / NO ₂	-	SO ₂ / NO ₂			
AO	Numbo	Industrielle	SO ₂ / NO ₂	NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂
BC	Rue Melvin Jones	Industrielle	SO ₂ / NO ₂	-	SO ₂ / NO ₂			
BG	<i>Station Logicoop</i>	Industrielle	SO ₂ / NO ₂	NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂
BH	<i>Station Montravel</i>	Industrielle	SO ₂ / NO ₂	NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂
BK	Turbine élec Ducos	Industrielle	SO ₂ / NO ₂	NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂
AF	Echangeur Kowe Kara	Trafic	NO ₂	NO ₂	NO ₂	-	NO ₂	NO ₂
AR	R. Gervolino - Aéodrome	Trafic	NO ₂	NO ₂	NO ₂	NO ₂	NO ₂	NO ₂
AS	R. Iekawe - 6e km	Trafic	NO ₂	-	NO ₂	NO ₂	NO ₂	NO ₂
AZ	Rond Point Patch	Trafic	NO ₂	NO ₂	NO ₂	NO ₂	NO ₂	NO ₂
AB	Av. Foch - Quartier Latin	Trafic	SO ₂ / NO ₂	NO ₂	-	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂
AC	Avenue Victoire - QL	Trafic	SO ₂ / NO ₂	NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂
AD	Baie des Dames	Trafic	SO ₂ / NO ₂	NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂
AL	Mairie de Nouméa	Trafic	SO ₂ / NO ₂	NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂
AM	Motor Pool	Trafic	SO ₂ / NO ₂	NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂
AP	R. Benebig - VDC	Trafic	SO ₂ / NO ₂	NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂
AU	Rond Point Belle Vie	Trafic	SO ₂ / NO ₂	NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂
av	Rond Point Berthelot	Trafic	SO ₂ / NO ₂	NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂
AX	Rond Point Leaderprice Magenta	Trafic	SO ₂ / NO ₂	NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂
AY	Rond Point Papeete	Trafic	SO ₂ / NO ₂	NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂
AH	Ecole Œillets - R. Salée	Urbaine	SO ₂	-	SO ₂	SO ₂	SO ₂	SO ₂
AQ	R. des Roussettes - R. Salée	Urbaine	SO ₂	-	SO ₂	SO ₂	SO ₂	SO ₂
AW	Rond Point Kaméré	Urbaine	SO ₂	-	SO ₂	SO ₂	SO ₂	SO ₂
BJ	Tindu	Urbaine	SO ₂	-	SO ₂	-	SO ₂	SO ₂
BE	<i>Station Anse Vata</i>	Urbaine	SO ₂ / NO ₂	NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂
BF	<i>Station Faubourg Blanchot</i>	Urbaine	SO ₂ / NO ₂	NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂
BL	Université de Nouville	Urbaine	SO ₂ / NO ₂	NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂	SO ₂ / NO ₂
Nombre total de sites			36	21	35	33	34	35
Nombre de tubes NO ₂			4	21	4	3	4	4
Nombre de tubes SO ₂			12	0	12	10	11	11
Nombre de tubes SO ₂ /NO ₂			20	0	19	20	19	20

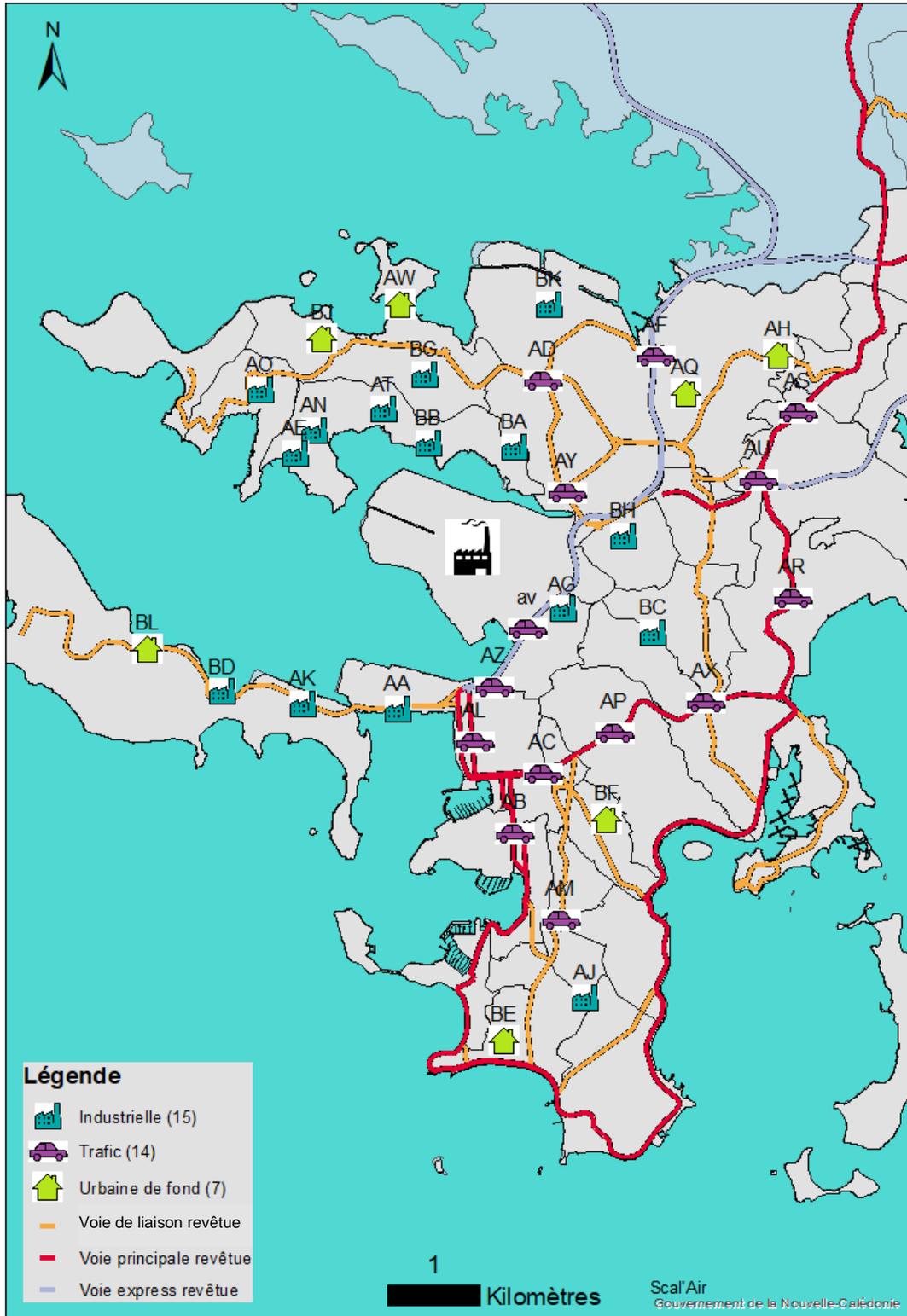
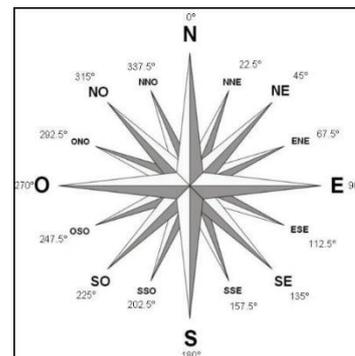


Figure 1 : Répartition géographique des sites de mesures par tubes passifs sur la ville de Nouméa (campagnes 2015 à 2017)

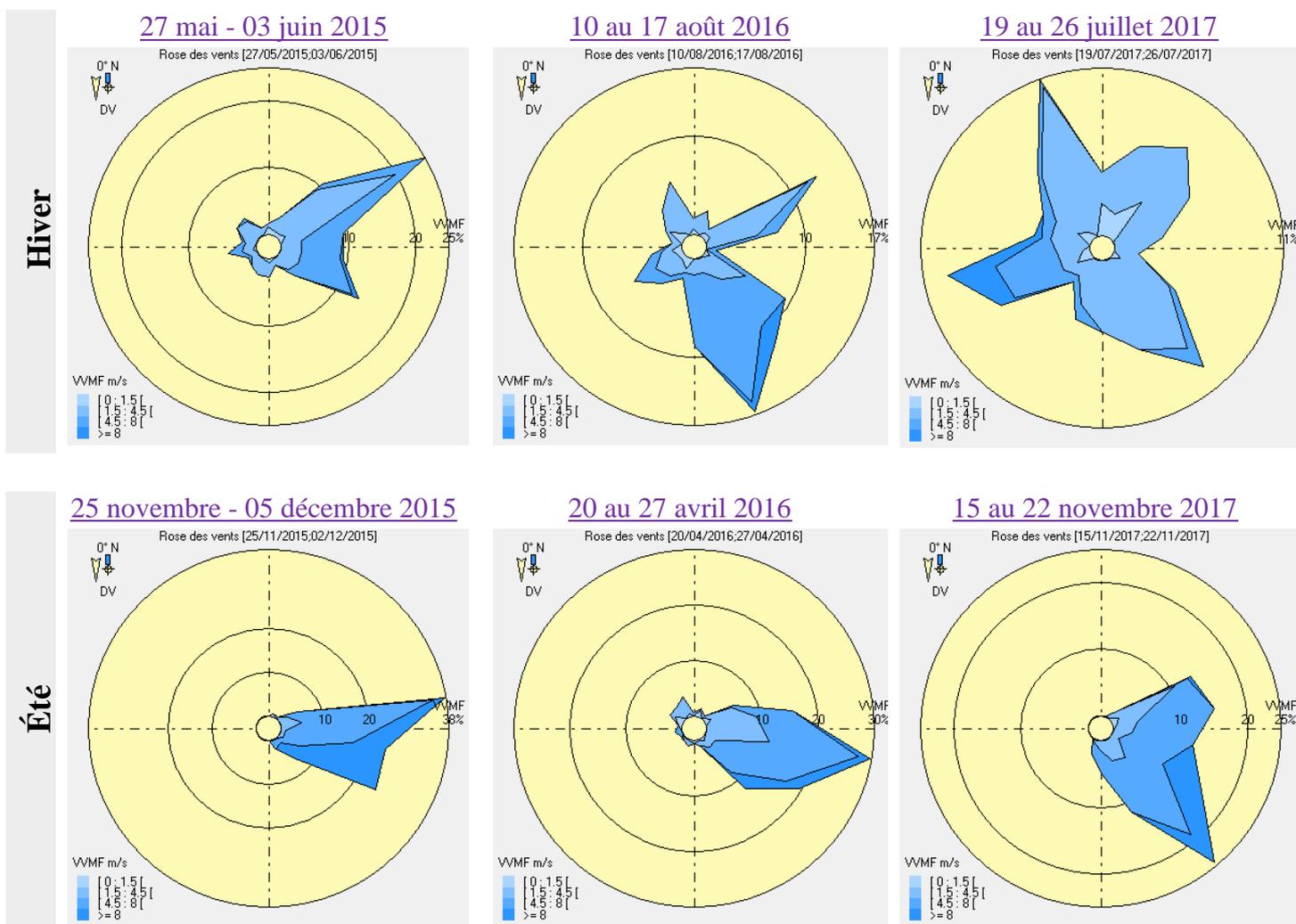
La caractérisation des typologies des sites est décrite en annexe 2.

4. Paramètres météorologiques

La vitesse et la direction du vent, les précipitations, la température de l'air et l'hygrométrie sont susceptibles d'avoir une influence sur la concentration en polluants en un site donné. Les figures 2 à 7 présentent les conditions météorologiques, mesurées par Météo France, rencontrées lors des 6 campagnes de mesures de SO₂ et NO₂ en 2015, 2016 et 2017.



4.1. Directions et vitesses des vents



Figures 2 à 7 : Roses des vents rencontrés lors des campagnes de mesures

Les vents recensés durant les campagnes hivernales sont généralement de secteurs variables. En mai-juin les vents dominants étaient de secteurs ENE (50-70°; 25%) et ESE (110-130°; 14%), conditions habituellement observées en intersaison et comportant des vents relativement favorables à la dispersion des polluants d'origine routière. En août, les vents étaient orientés ESE à S (47%), ENE à E (13%) et environ 40% de vent de secteurs variables (OSO à NNO).

En juillet, les vents de secteurs NNO dominant. En hiver, les vents majoritaires ont été peu dispersifs avec de faibles vitesses (1.5 à 4 m/s). 30 à 40% des vents de ces périodes, d'amplitude moyenne (4.5 à 8 m/s), ont été plus favorables à la dispersion des polluants.

Les campagnes estivales sont caractérisées par des régimes de vents de secteurs ENE à E en novembre-décembre, et de secteurs ENE à SSE en avril et novembre.

Les vents étaient majoritairement moyens à forts (4.5 à 8 m/s), avec toutefois des vents d'amplitude variable, de très faible à très fort. Ces régimes de vents, ont probablement permis une meilleure dispersion des polluants contenus dans l'air ambiant de la ville, et notamment en direction de la presqu'île de Ducos.

Globalement, d'après les résultats des campagnes précédentes, des tendances ressortent :

	Conditions météorologiques	NO ₂	SO ₂
Hiver	Vents faibles et variables	- Accumulation du NO ₂ - Concentrations plus élevées qu'en été	- Dispersion du SO ₂ vers la ville - Faibles concentrations en SO ₂
Été	Vents moyens à forts et régime des alizés	- Dispersion vers l'extérieur de la ville - Faibles concentrations en NO ₂	- Accumulation au niveau de Logicoop - Concentration plus élevées qu'en hiver

En ce sens, la campagne de mai-juin 2015 présente des conditions de vents intermédiaires, à la fois proches des conditions rencontrées en hiver et en été.

4.2. Température, pluviométrie, hygrométrie

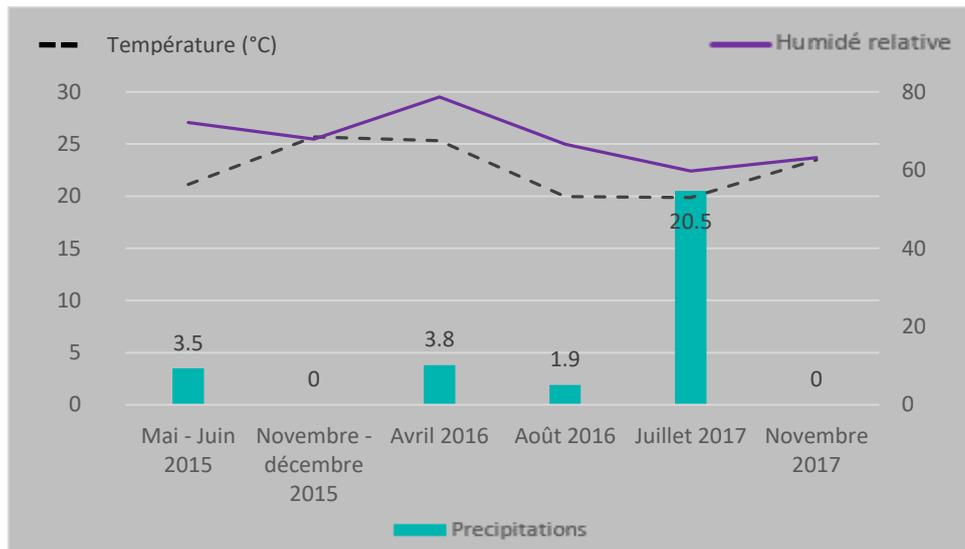


Figure 8 : Précipitations, température et humidité relative recensées lors des campagnes de mesure du SO_2 et NO_2

Aucune précipitation n'a été enregistrée durant les campagnes d'été 2015 et 2017. Au cours des trois campagnes de mai/juin 2015, d'avril et août 2016, les précipitations ont été faibles. D'importantes précipitations ont été relevées en hiver 2017 ce qui n'est visiblement pas commun lors des précédentes campagnes de mesures.

Les précipitations et l'hygrométrie moyennes étaient plus élevées en avril 2016.

Hormis la campagne d'hiver 2017, les précipitations ont été rares et généralement concentrées sur une ou deux journées par campagne, et les températures comprises entre 19 et 22°C en hiver, et 24 et 26°C en été.

Les fortes précipitations favorisent la retombée des polluants gazeux par lessivage de l'atmosphère et sont favorables à une bonne qualité de l'air. Globalement, la plupart des conditions rencontrées ne tendaient pas à réduire les niveaux de pollution atmosphérique.

5. Résultats et interprétations

5.1. Correction des données

Les concentrations (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) par polluant sont fournies par les laboratoires d'analyses. Dans l'ensemble des triplets, il y avait une valeur aberrante. Pour cette raison, ces valeurs ont été écartées et n'entrent pas dans l'exploitation des données suivantes. Les résultats sont donc moyennés dans les cas de doublons, ou directement présentés lorsque les tubes étaient uniques.

Des corrections, préconisées par le guide de l'ADEME de 2002 et présentées ci-après, ont été appliquées aux résultats en fonction du polluant et du fournisseur de tubes passifs (*Passam/Radiello*).

5.1.1. Modalités de correction des données issues des tubes *Passam*

5.1.1.1. Le dioxyde d'azote

Concernant le NO_2 , le mode opératoire de correction s'organise en trois étapes :

✓ **Correction du débit d'échantillonnage**

Le laboratoire effectue les analyses en NO_2 et SO_2 à un débit de $0.8536 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$, en atmosphère contrôlée à 9°C . Le débit d'échantillonnage utilisé est $Q=0.9470 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$, déterminé (par l'ADEME, l'ASPA) pour des conditions « normales » de $T=21.1^\circ\text{C}$ et $P=1013\text{hPa}$.

Pour corriger les résultats de *Passam*, il faut multiplier les concentrations brutes par un facteur E de $0.9010 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$ ($0.8536/0.9470$).

✓ **Correction des paramètres température et pression sur les concentrations**

Le débit de piégeage des molécules est fonction de la température et de la pression atmosphérique lors de l'échantillonnage. Suite à la correction du débit d'échantillonnage, les données sont corrigées en fonction de la température moyenne réelle mesurée lors de l'échantillonnage.

✓ **Standardisation** (ou normalisation)

Les textes réglementaires demandent que les concentrations en polluants soient exprimées à 20°C et 1013hPa , de manière à rendre les données issues des tubes passifs similaires à celles fournies pour les analyseurs fixes ($T=20^\circ\text{C}$), et à être comparables entre elles. Les étapes de correction de température et de standardisation sont fréquemment combinées en un seul calcul.

5.1.1.2. Le dioxyde de soufre

Il n'existe pas de guide de référence sur lequel s'appuyer concernant les mesures passives du SO₂. C'est la raison pour laquelle aucune correction du débit d'échantillonnage n'est effectuée. En revanche, les lois de diffusion et les paramètres d'influence existent également pour le SO₂ c'est pourquoi uniquement les **deux dernières étapes correctives** (température et standardisation) sont appliquées aux concentrations brutes en dioxyde de soufre.

Les formules de correction sont décrites en annexe 1.

5.1.2. Modalités de correction des données issues des tubes *Radiello*

Au regard de la bibliographie, les tubes *Radiello* sont rarement utilisés dans l'échantillonnage du NO₂. Quant au SO₂, il est peu suivi par les associations de surveillance de la qualité de l'air au vu des problématiques métropolitaines. Nous n'avons donc pas de véritables méthodes de référence.

5.1.2.1. Le dioxyde d'azote

Le débit de piégeage des molécules de NO₂ varie en fonction de la température, ce qui influe sur la concentration en polluant dans le tube. Une formule de correction est appliquée aux données transmises par le laboratoire.

5.1.2.2. Le dioxyde de soufre

Le débit de piégeage du dioxyde de soufre ne change pas avec la température dans un intervalle de -10 à 40 °C. Aucune correction n'est donc appliquée aux données brutes.

Le laboratoire procède à une conversion des données (NO₂ et SO₂) des ppb en microgramme par mètre cubes d'air (µg/m³), qui inclue une standardisation des résultats à 20°C et 1 013hPa.

5.2. Qualité de la mesure

Afin de s'assurer de la qualité des mesures réalisées, des blancs sont utilisés et les sites ont été équipés de doublons (voire de triplets). La validation des données issues du prélèvement passif du dioxyde d'azote nécessite trois étapes dont l'analyse des blancs, la répétabilité de la mesure et la comparaison avec les analyseurs automatiques.

5.2.1. Analyse des tubes passifs « blancs »

Les tubes blancs sont identiques aux tubes exposés et suivent le même parcours, à la différence qu'ils ne sont pas exposés à l'air ambiant. Ces mesures permettent d'évaluer d'éventuelle dérive des solutions

chimiques pendant leur préparation et leur conservation au cours de l'étude et également de vérifier d'éventuelle contamination des tubes passifs.

L'ensemble des tubes blancs ont donné, pour les trois années de campagnes traitées, des valeurs inférieures au seuil de quantification analytique. Ainsi, on estime que la contamination est nulle ou très faible.

5.2.2. Dupliques de tubes passifs et intercomparaison des tubes *Passam* et *Radiello*

➤ **Répétabilité des mesures**

L'intérêt de réaliser des répliquas de tubes est de détecter des valeurs aberrantes ainsi que de mesurer la répétabilité des mesures pour un même site. Le retour d'expérience a montré qu'il valait mieux utiliser des triplets ou aucun duplica plutôt que des doublons qui, en cas d'écart-relatif important, ne permettent pas de discriminer une valeur aberrante d'une autre. Par conséquent, les duplicas ont été réalisés en 2015, mais non réitérés en 2016 et 2017.

La précision des résultats est définie par la moyenne des écarts-relatifs (ER) calculés pour l'ensemble de ces doublons avec la formule suivante :

$$ER (\%) = \frac{| C_{tube} - C_{moyenne} |}{C_{moyenne}} * 100$$

Avec *C_{tube}* : concentration mesurée par un des tubes du doublon ou du triplet

C_{moyenne} : concentration moyenne des doublons ou des triplets

Selon la littérature, une moyenne des écarts-types inférieure à 10% est jugée satisfaisante.

Dans le cas des triplets, les écart-relatifs (ER) variaient entre 36% et 99%. Dans notre cas les valeurs aberrantes étant clairement identifiables, elles ont été écartées sans recours à une méthode particulière. Les écarts-relatifs entre les duplicas sont présentés ci-dessous.

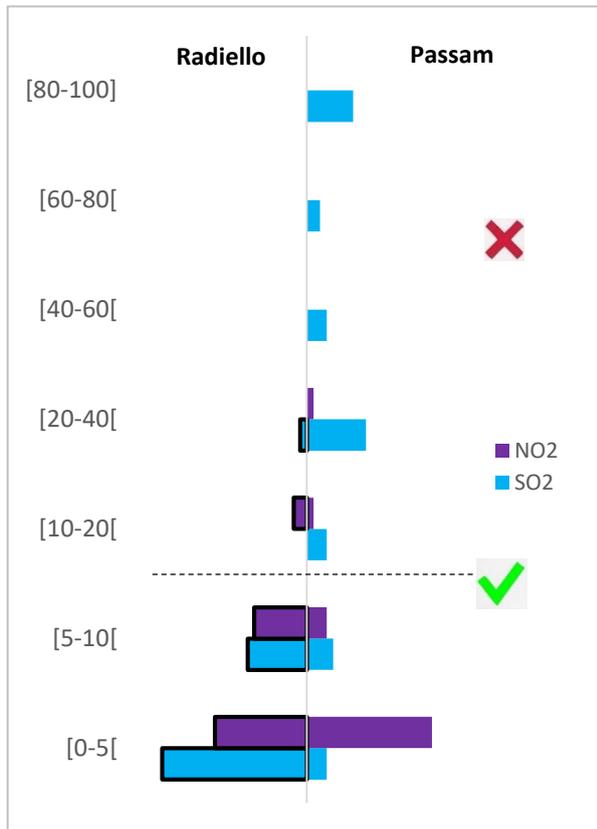
Tableau 5 : Écart-type moyen obtenu par polluant et par marque de tube passif

Précision	<i>Passam</i>	<i>Radiello</i>
SO ₂	42% (0-100%)	4% (0-31%)
NO ₂	3% (0-24%)	5% (1-15%)

Les doublons de tubes *Passam* ont une précision de 42% pour le SO₂, ce qui est peu satisfaisant car supérieure au 10%. En théorie, le fournisseur définit un niveau d'incertitude de 25.4%, pour des concentrations >20 µg/m³, or seulement 16% de nos valeurs dépassent les 20 µg/m³. Les tubes ne sont vraisemblablement pas adaptés aux gammes de mesures de SO₂ observées à Nouméa. Pour le NO₂, la précision de 3% est très satisfaisante.

Les doublons de *Radiello* montrent des taux de précision très satisfaisants pour les deux polluants.

La répartition des classes d'écart-relatifs entre les doublons (figure 9), par gamme de pourcentage d'écart-relatif, permet de mieux visualiser la précision entre deux tubes de marque *Radiello* (gauche) et deux tubes de marque *Passam* (droite) pour les polluants SO₂ et NO₂.



Les ER entre des doublons de types *Passam* vont au-delà des 10% que ce soit pour le NO₂ et le SO₂, et atteignent même les 100% d'écart pour le SO₂. En revanche, la plupart des ER entre les doublons de type *Radiello* sont inférieurs à 10% pour les 2 polluants.

Les **tubes *Radiello*** sont adaptés à la mesure du NO₂ et du SO₂.
 Les **tubes *Passam*** sont clairement peu fiables pour la mesure du SO₂ dans les gammes de mesures rencontrées à Nouméa, mais sont très satisfaisants pour mesurer le NO₂, pour lesquels ils semblent légèrement plus précis que *Radiello*.

Figure 9 : Répartition des classes d'écart-relatifs (ER en %) entre les doublons des tubes passifs *Radiello* et *Passam*

➤ **Corrélation *Passam* / *Radiello***

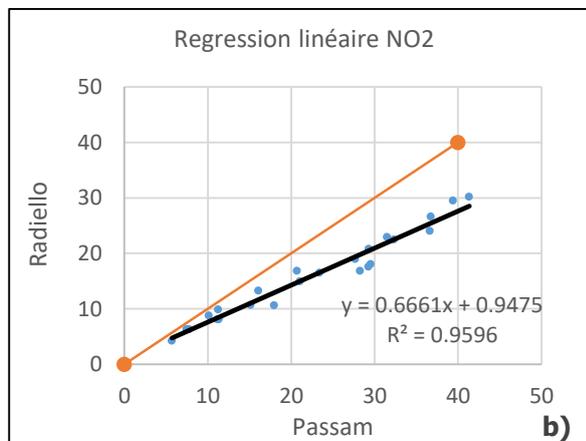
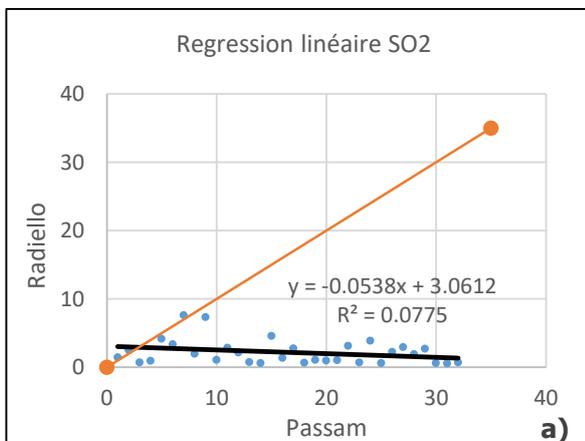


Figure 10 : Corrélation entre les mesures fournies par tubes passifs *Passam* et *Radiello* pour le prélèvement du SO₂ (a) et du NO₂ (b)

Dans la mesure où les deux moyens d'échantillonnage ont été utilisés pour nos prélèvements, il s'agit ici de déterminer leur corrélation l'un par rapport à l'autre. En ce qui concerne le prélèvement du SO₂ (figure de gauche), les deux moyens de mesures ne sont pas corrélés ($R^2 \approx 0$). Dans le cas du NO₂, les deux dispositifs fournissent des résultats corrélés ($R^2 \approx 1$). Quels que soient les polluants mesurés, les tubes *Passam* fournissent des valeurs supérieures à celles fournies par les tubes *Radiello*. La surestimation est d'autant plus vraie que les concentrations mesurées sont élevées.

5.2.3. Comparaison avec les analyseurs

Parmi les sites de mesures, quatre correspondent aux lieux d'implantation des stations fixes du réseau de surveillance de la qualité de l'air de Scal'Air :

Stations	Typologie
Logicoop	Industrielle
Montravel	Urbaine sous influence industrielle
Faubourg Blanchot	Urbaine
Anse Vata	Péri-urbaine

Afin de valider les mesures faites par échantillons passifs, celles-ci sont comparées aux résultats fournis par les analyseurs fixes qui mesurent en continu les concentrations en NO₂ et en SO₂.

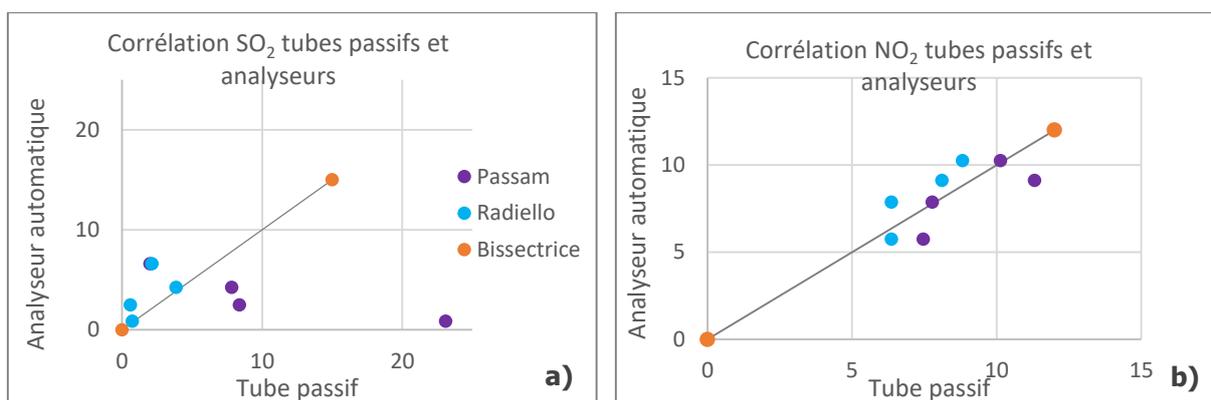


Figure 11 : Corrélation entre les mesures fournies par tubes passifs et par les analyseurs automatiques sur la même période d'échantillonnage pour le prélèvement du SO₂ (a) et du NO₂ (b)

L'analyse comparative (figure 11) des mesures de SO₂ et de NO₂ obtenues par **tubes passifs** de type **Passam** et **Radiello**, avec les valeurs des **analyseurs automatiques** (moyennées pour la même période) permet d'apprécier la fiabilité des mesures réalisées par échantillonnage passif.

Le tableau 6 résume les caractéristiques avantageuses des dispositifs de mesures de chacun des types de tubes passifs.

Tableau 6 : Caractéristiques avantageuses des dispositifs de mesures

<i>Passam</i>	<i>Radiello</i>
Très bonne répétabilité 3%	Très bonne répétabilité 5%
80% des doublons montrent un ER inférieur à 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	58% des doublons montrent un ER inférieur à 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
0% < ER entre doublons < 24%	1% < ER entre doublons < 15%
1% < ER tubes/analyseurs < 30% <ul style="list-style-type: none"> • Précision variable 	11% < ER tubes/analyseurs < 19% <ul style="list-style-type: none"> • Régularité des écarts

- ⇒ Pour le prélèvement du NO_2 , la moyenne des écarts-relatifs de 31% est de l'ordre de ceux rencontrés dans la littérature. Les deux types de tubes passifs fournissent des résultats pertinents et satisfaisants, proches des données des analyseurs fixes. Les tubes **Passam** ont fourni des données précises voire légèrement surestimées par rapport aux analyseurs. Les tubes **Radiello** fournissent également des données proches de celles des analyseurs, avec une légère tendance à la sous-estimation. Ces biais de mesures sont également constatés pour le SO_2 .
- ⇒ Pour le prélèvement du SO_2 , les tubes passifs fournissent un biais de mesure par rapport aux données des analyseurs fixes. Les mesures à de faibles concentrations ($< 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) induisent une incertitude plus élevée en comparaison au NO_2 car l'incertitude augmente d'autant plus que les concentrations sont faibles. Si ce biais est raisonnable pour les tubes Radiello (ER moyens = -21%), il est considérable pour les tubes Passam (ER moyen = 225%). Les tubes **Radiello** montrent de meilleures corrélations avec les analyseurs fixes que les tubes **Passam**.

5.3. Le dioxyde de soufre (SO_2)



La figure 12 présente la répartition des classes de concentrations moyennes en SO_2 par année de 2015 à 2017 (a) et par saison (b).

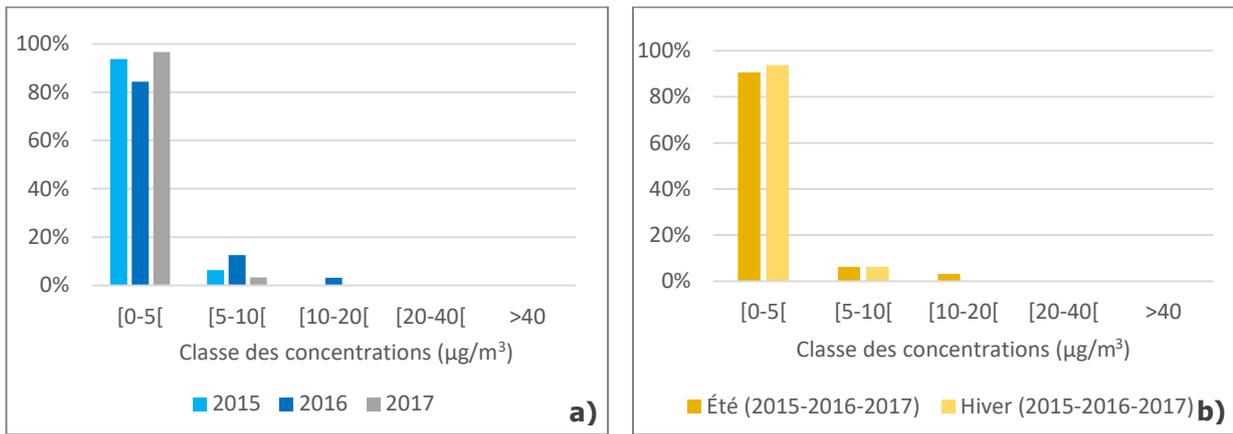


Figure 12 : Répartition des classes de concentrations moyennes en SO₂ par année de 2015 à 2017 (a) et par saison (b)

Les niveaux de SO₂ sont relativement stables entre 2015 et 2017 (figure 12a) et ne semblent pas dépendre de la saison d'échantillonnage (figure 12b).

D'une manière générale, les concentrations moyennes relevées sur Nouméa se situent entre 0 et 20 µg/m³ dont l'essentiel (> 80%) des concentrations sont inférieures à 5 µg/m³.

À titre indicatif, aucune moyenne ne dépasse l'objectif annuel de qualité de l'air de 50 µg/m³ par an.

Les concentrations moyennes en SO₂ relevées par tube passif et analyseur, par typologie de site, par saison et par année (µg/m³) sont représentées en figure 13.

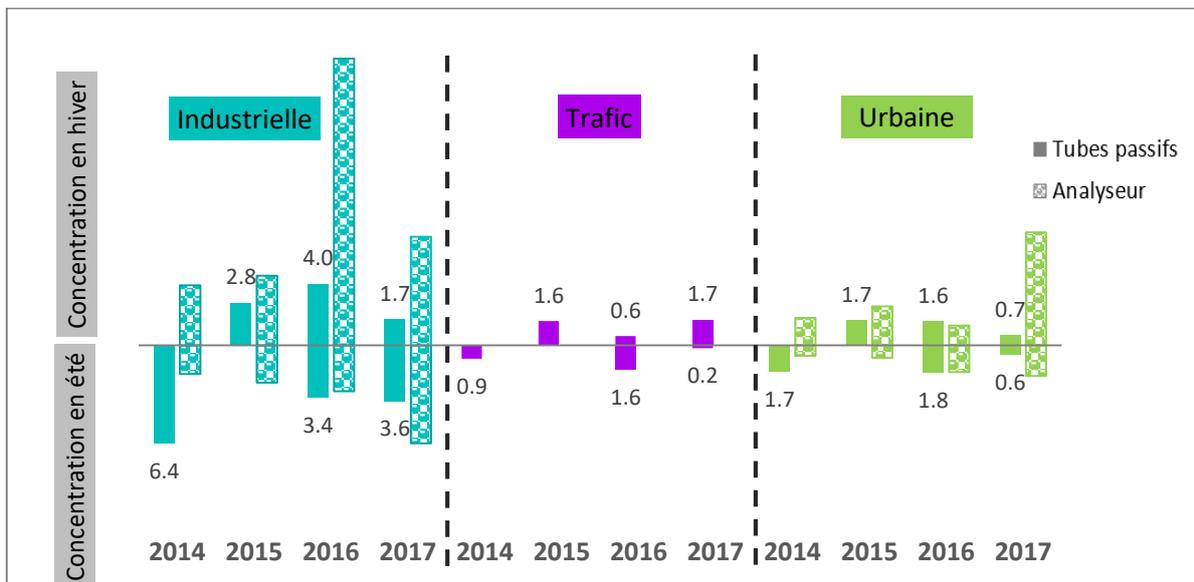


Figure 13 : Concentrations moyennes en SO₂ relevées par tube passif et analyseur, par typologie de site, par saison et par année en (µg/m³)

Les concentrations en SO₂ dépendent de la typologie des sites. Effectivement on constate que le dioxyde de soufre est plus abondant au niveau des sites de type industriel par rapport aux zones de type trafic ou urbain. Cela est cohérent puisqu'il constitue un traceur de l'activité industrielle sur Nouméa, émis par les centrales thermiques et les grosses installations de combustion industrielles.

En sites urbain et trafic, les taux moyens en SO₂ sont relativement faibles et stables entre 2015 et 2017, toutes saisons confondues.

En zone industrielle, les concentrations sont variables d'une année à l'autre en hiver. On note qu'en été les niveaux moyens ont été divisés par deux entre 2014 et 2016. Cependant, le manque de données pour les années 2014 et 2015 ne permet pas de constater une véritable tendance.

À titre indicatif, les concentrations en SO₂ moyennées par typologie de station fixe ont été intégrées à la figure 13 afin de conforter ou non les données récoltées par le dispositif de mesures passives. Globalement, les données passives sont inférieures aux données des analyseurs, mais les proportions tubes passifs/analyseurs sont cohérentes.

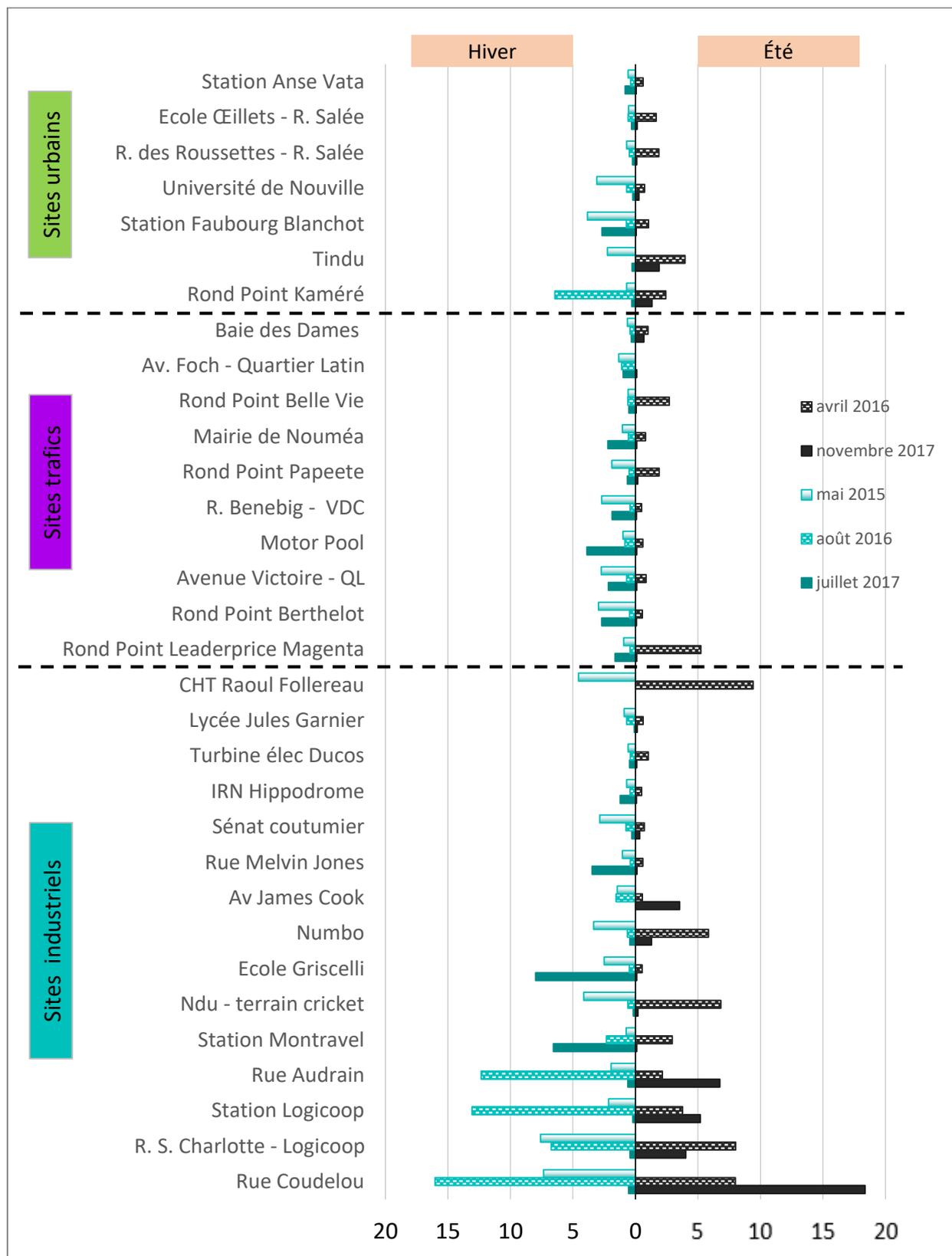


Figure 14 : Concentrations en SO₂ par site de mesures, par saison et par année (2015-2017) en (µg/m³)

Si en moyenne les sites de type « industriel » sont les plus impactés par le SO₂, la figure 14 montre qu'ils ne sont pas tous autant impactés les uns que les autres. D'ailleurs, les concentrations de certains sites trafic

(i.e. Rond-Point Leaderprice Magenta) ou urbain (i.e. Rond-Point Kamere) sont du même ordre de grandeurs que celles relevés au niveau des sites industriels les plus impactés par le SO₂.

Le tableau suivant présente les sites qui ont des concentrations en SO₂ supérieures à 5 µg/m³. D'après son retour d'expérience, Scal'Air estime que les sites montrant des valeurs supérieures à 5 µg/m³ durant une campagne, sont susceptibles de connaître des épisodes de pollution avec dépassement au minimum du seuil d'information et de recommandations (300µg/m³).

Tableau 7 : Sites ayant eu des valeurs de concentrations en SO₂ supérieures à 5 µg/m³

Nom commun	Typologie	Mai 2015	Avril 2016	Août 2016	Juillet 2017	Novembre 2017
Rue Coudelou	Industrielle	7.4	8.0	16.0	0.6	18.4
R. S. Charlotte - Logicoop	Industrielle	7.6	8.0	6.7	0.4	4.0
<i>Station Logicoop</i>	Industrielle	2.2	3.8	13.1	0.2	5.2
Rue Audrain	Industrielle	2.0	2.2	12.3	0.6	6.7
<i>Station Montravel</i>	Industrielle	0.8	2.9	2.3	6.6	0.1
Ndu - terrain cricket	Industrielle	4.2	6.8	0.6	0.2	0.2
Ecole Griscelli	Industrielle	2.5	0.5	0.5	8.0	0.1
Numbo	Industrielle	3.4	5.8	0.6	0.4	1.3
CHT Raoul Follereau	Industrielle	4.6	9.4	/	/	/
Rond Point Leaderprice Magenta	Trafic	1.0	5.2	0.4	1.6	0.1
Rond Point Kaméré	Urbaine de fond	0.7	2.4	6.5	0.3	1.3

Ces sites sont pour la plupart situés sous les vents dominants, ou à proximité du site industriel de Doniambo. Le site Rue Coudelou est le site le plus impacté (figure 14).

Les représentations cartographiques des concentrations en SO₂ moyennées par saison sur les années 2015 à 2017 offrent une meilleure visibilité des résultats.

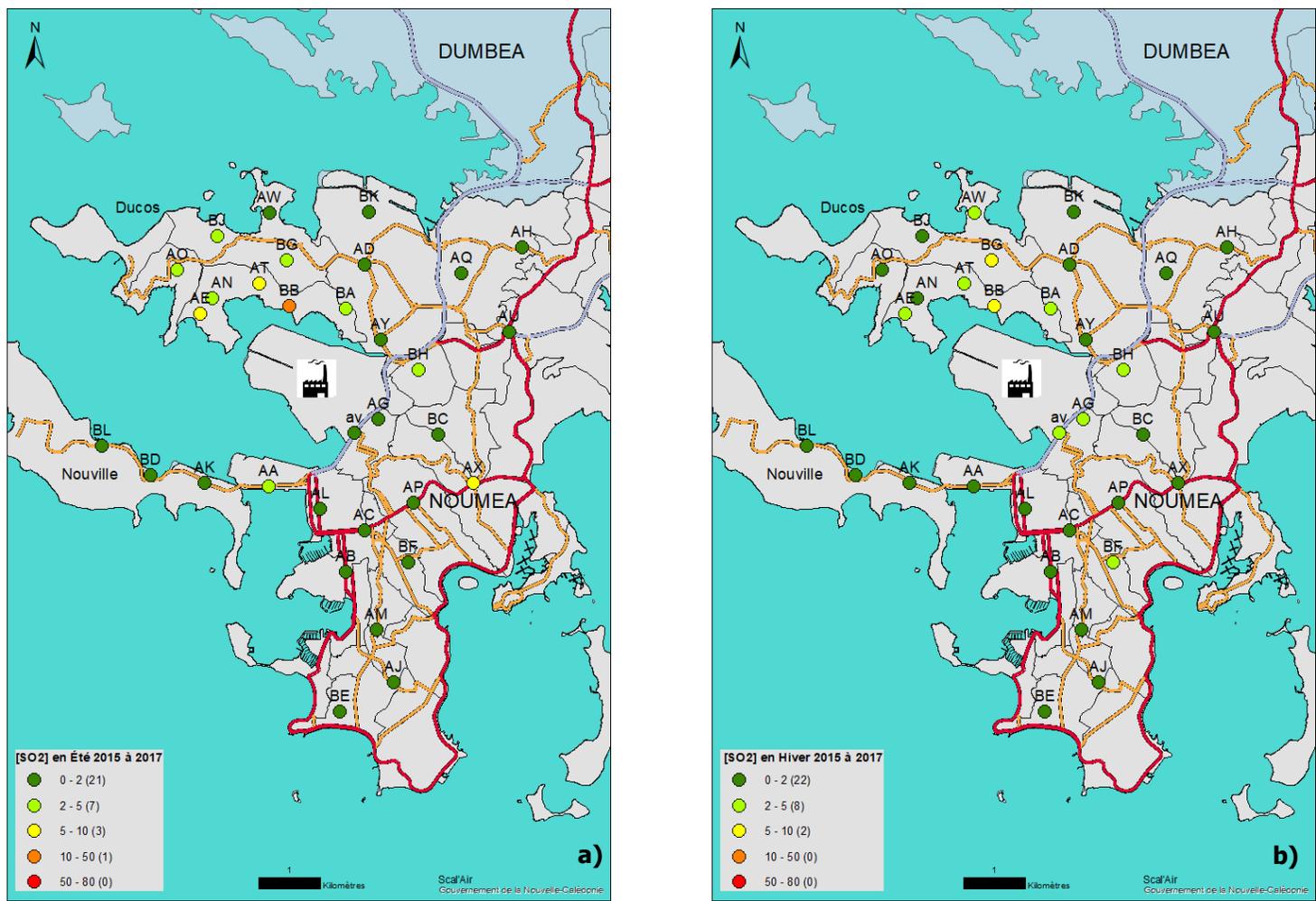


Figure 15 : Concentrations moyennes en SO₂ en été (a) et en hiver (b) de 2015 à 2017 sur la ville de Nouméa (en µg/m³)

5.4. Le dioxyde d'azote (NO₂)



La figure 16 montre que les concentrations moyennes relevées sur Nouméa entre 2015 et 2017 se situent entre 0 et 40 µg/m³. À titre indicatif, aucune moyenne ne dépasse la valeur réglementaire annuelle de 40 µg/m³.

Les concentrations en NO₂ tendent à diminuer depuis 2014 quelle que soit la saison (figure 17).

En 2015, la majorité des concentrations en NO₂ étaient comprises entre 20 et 40 µg/m³.

En 2016 et 2017, des concentrations en NO₂ ont eu tendance à diminuer puisque la moitié des sites affichaient des valeurs entre 10 et 20 µg/m³.

Notons que ces écarts de concentrations peuvent être liés au changement de matériel *Passam/Radiello* effectué entre 2015 et 2016 ou aux périodes d'échantillonnage différentes d'une année à l'autre, et par conséquent les conditions de pluie, de température et d'humidité associées.

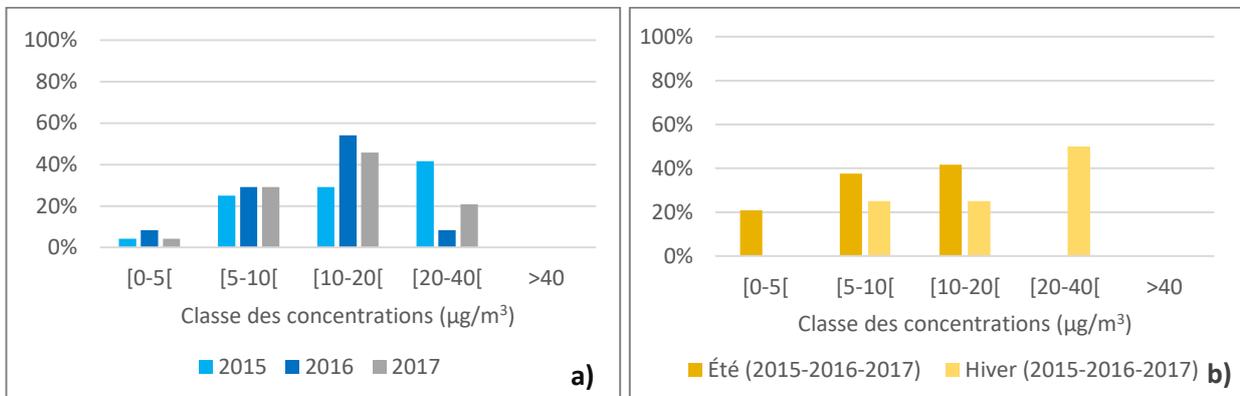


Figure 16 : Répartition des classes de concentrations moyennes en NO₂ entre 2015 et 2017 (a) et par saison (b)

Les ordres de grandeurs des concentrations en NO₂ dépendent de la saison pendant laquelle la campagne de mesures a eu lieu (figure 16). L'hiver les concentrations sont plus importantes, comprises essentiellement entre 10 et 40 µg/m³. L'été, les valeurs se situent entre 5 et 20 µg/m³ soit quasiment moitié moins.

D'après la figure 18, les écarts mesurés en été et en hiver sont bien distinguables en 2015 et 2017, mais moins en 2016. Ceci s'explique potentiellement par la similarité des conditions météorologiques rencontrées au cours des deux campagnes (été et hiver) de 2016 contrairement aux autres années.

La saisonnalité des résultats se confirme au vu de la figure 17 puisque les concentrations en NO₂ en été sont toujours inférieures aux teneurs mesurées en hiver de la même année. Cela conforte également les résultats des années précédentes (partie 4.1).

Les vents majeurs de vitesse faible (1.5 à 4 m/s) en hiver ont favorisé l'accumulation des polluants à proximité de leurs sources d'émission. À contrario, durant l'été les vents ont été majoritairement moyens à forts (4.5 à 8 m/s) avec la présence de rafales qui ont probablement permis une meilleure dispersion des polluants, d'origine routière, contenus dans l'air ambiant de la ville. On peut également penser qu'en période

estivale le NO₂ participe davantage à la formation de l'ozone sous l'effet du rayonnement solaire plus important.

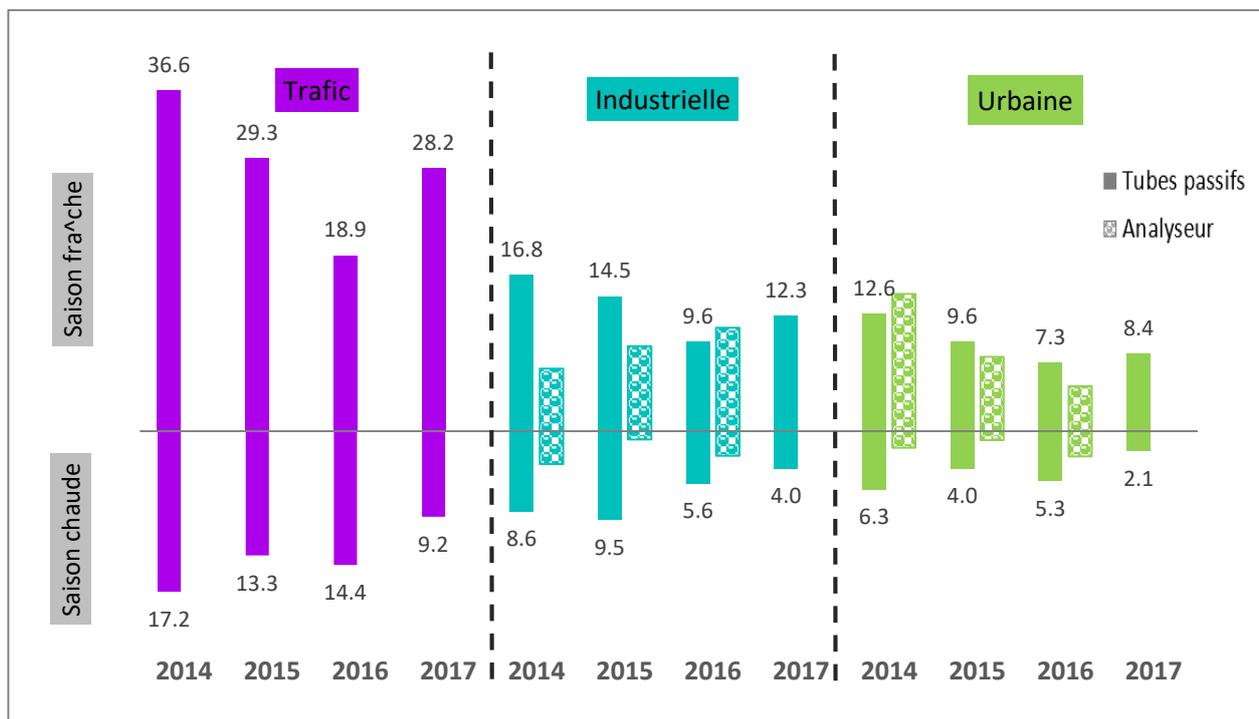


Figure 17 : Concentrations moyennes de NO₂ relevée par tube passif et analyseur, par typologie de site, par saison et par année (µg/m³)

Les concentrations en NO₂ sont corrélées à la typologie des sites: les concentrations des sites de type « trafic » sont supérieures à celles des sites « industriels », ces derniers ayant une concentration supérieure aux sites de type « urbain » ([trafic] > [industriel] > [urbain] ; figure 17).

Les sites de type « trafic » sont donc les plus impactés par le NO₂ (figure 17) qui est un polluant caractéristique du trafic routier. Le Rond-point Berthelot est le site le plus impacté par le dioxyde d'azote (figure 18). Le dioxyde d'azote est davantage présent le long des principaux axes routiers ou au niveau des ronds-points.

Les quatre stations de mesures fixes, urbaines ou industrielles, se positionnent parmi les sites les moins impactés (figure 18). Aucune station fixe n'est représentative pour la mesure du NO₂ en site trafic sur l'agglomération.

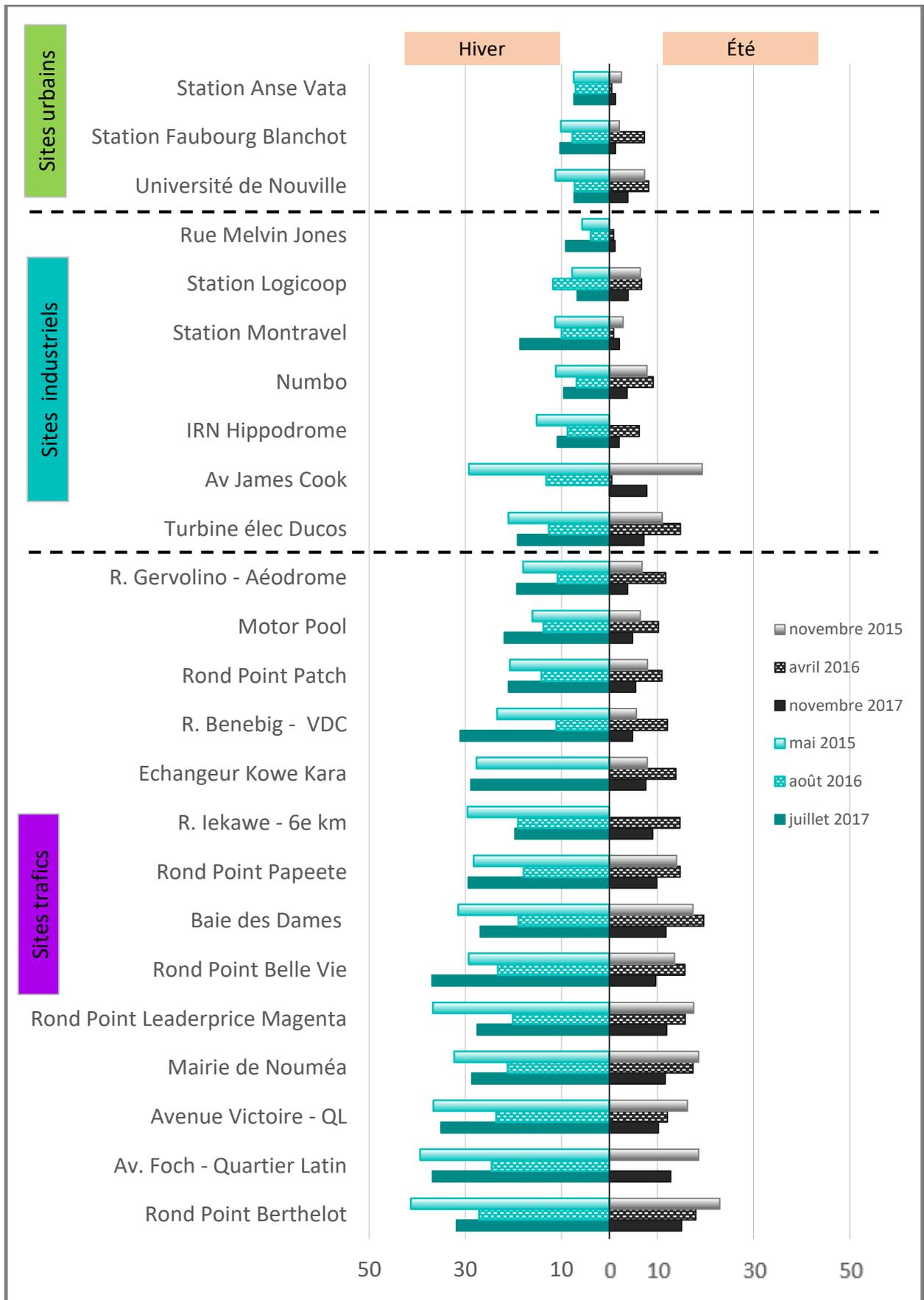


Figure 18 : Concentrations en NO₂ par site de mesures, par année et par saison (en µg/m³)

Les représentations cartographiques des concentrations en NO₂ moyennées par saison sur les années 2015 à 2017 offrent une meilleure visibilité des résultats.

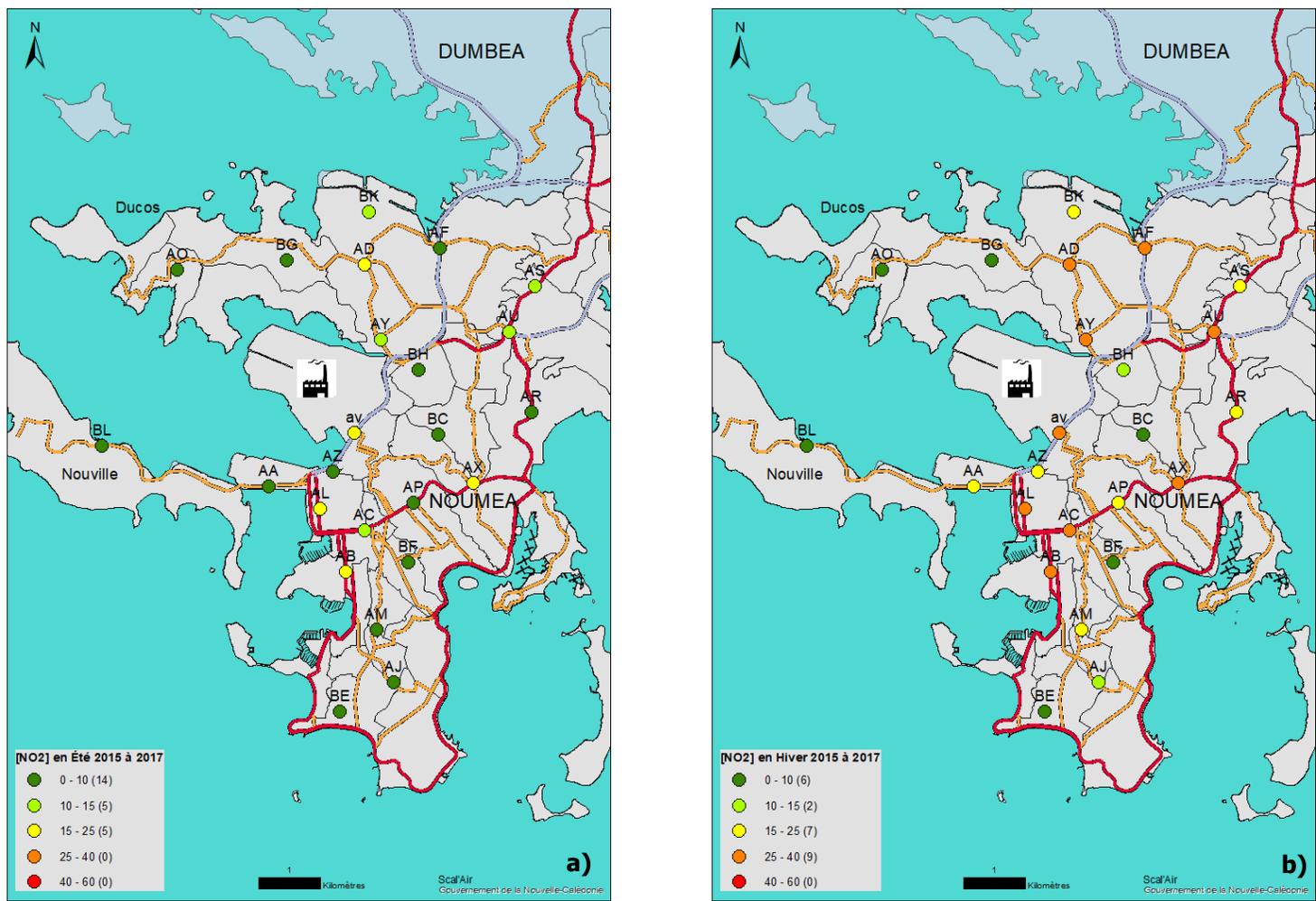


Figure 19 : Concentrations moyennes en NO₂ en été (a) et en hiver (b) 2015 à 2017 sur la ville de Nouméa (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

5.5. Historique des concentrations SO₂/NO₂ 2009-2017

Scal'Air suit les polluants de type SO₂ et NO₂ depuis 2009, en appliquant un protocole d'échantillonnage similaire permettant de comparer les données au cours du temps. Les figures 20 et 21 présentent respectivement l'étendue des concentrations en SO₂ et en NO₂ relevées au cours des campagnes de 2009 à 2017. Un guide de lecture des figures suivantes est proposé en annexe 3.

➤ Le dioxyde de soufre

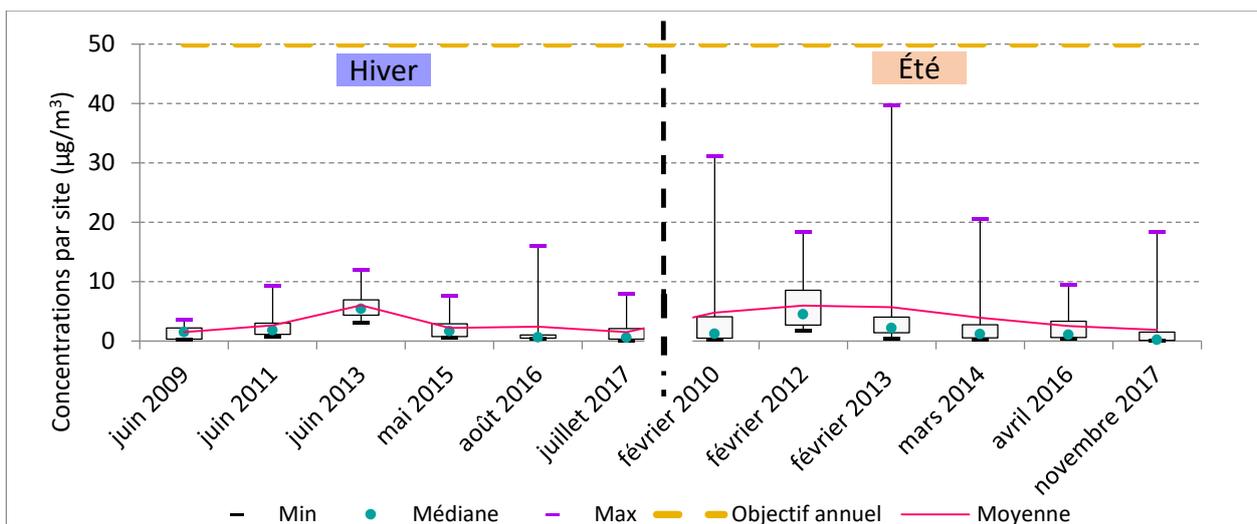


Figure 20 : Étendue des concentrations en SO₂ relevées au cours des campagnes de 2009 à 2017

Dans l'ensemble, les niveaux moyens de SO₂, compris entre 1,5 et 6 µg/m³ sont globalement stables depuis 2009, et faibles quelle que soit la saison.

La gamme de concentrations s'étend davantage en été qu'en hiver. En revanche, les niveaux maximums de SO₂ tendent à s'abaisser en été depuis 2013.

➤ Le dioxyde d'azote

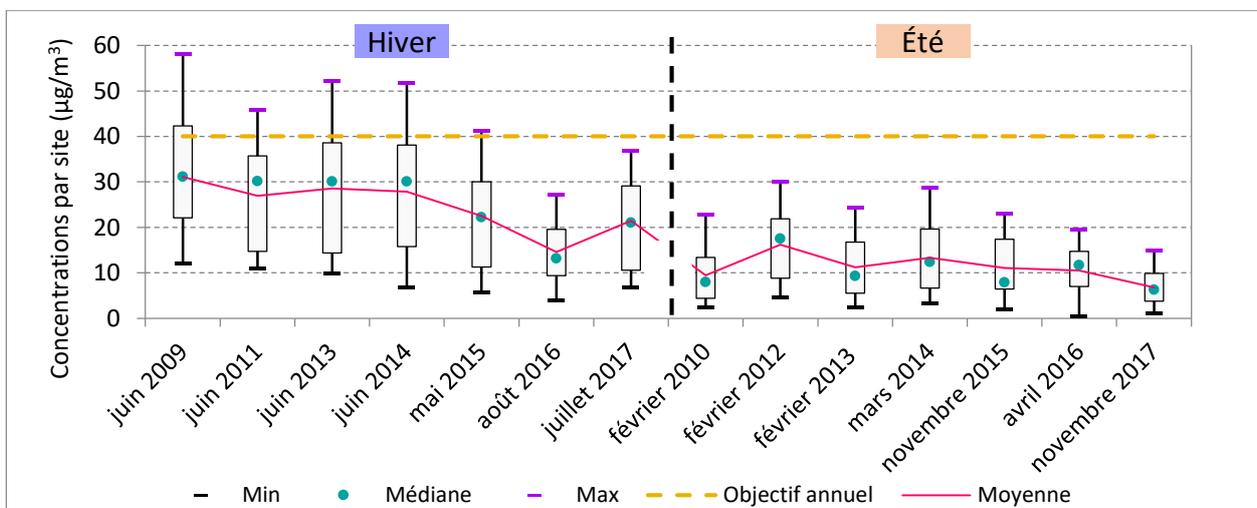


Figure 21 : Étendue des concentrations de NO₂ relevées au cours des campagnes de 2009 à 2017

Les niveaux moyens de NO₂ ont été relativement stables depuis 2009 avec une légère tendance à la baisse à partir de 2014. Néanmoins on rappelle que le changement de matériel d'échantillonnage, et dans une moindre mesure, les périodes de mesures décalées par rapport aux précédentes, exercent un biais qui ne permet toutefois pas d'identifier une tendance de réduction significative pour ces dernières années.

Les valeurs maximales régressent depuis 2009, d'ailleurs aucun résultat relevé ne dépasse les 40 µg/m³, valeur de l'objectif de qualité annuel, depuis 2015.

En hiver les concentrations, comprises entre 4 et 60 µg/m³, sont plus dispersées qu'en été (environ deux fois plus). En été la moitié des valeurs se situent entre 10 et 20 µg/m³, et toutes se maintiennent en-dessous de 30 µg/m³.

La saisonnalité des concentrations en dioxyde d'azote est observée depuis les premières campagnes de mesures et s'explique essentiellement par les conditions de vents faibles en hiver qui favorisent l'accumulation des polluants d'origine routière et les vents moyens à forts en été qui permettent leur dispersion.

Globalement le suivi des concentrations montre que les sites les plus et les moins impactés sont régulièrement les mêmes :

	+	-
SO ₂	Rue Coudelou (3/12) CHT Raoul Follereau (3/12)	Pour de nombreux sites, les concentrations en SO ₂ ont été très faibles voire inférieures au seuil de quantification
NO ₂	Rond Point Berthelot (11/13)*	Station Anse Vata (8/13)*

*Correspond au nombre d'occurrences où ce site a été le plus (ou le moins) impacté sur le nombre total de campagnes

Au cours de certaines campagnes, il arrive que les sites les plus ou les moins impactés soient :

	+	-
SO ₂	Ndu - terrain cricket (2/12) Lycée Jules Garnier (1/12) R. S. Charlotte – Logicoop (1/12) Station Logicoop (1/12) Ecole Griscelli (1/12)	Pour de nombreux sites, les concentrations en SO ₂ ont été très faibles voire inférieures au seuil de quantification
NO ₂	Echangeur Kowe Kara (1/13)* Baie des Dames (1/13)*	Rue Melvin Jones (4/13)*

6. Conclusion

➤ Le dioxyde de soufre

Inter-comparaison des tubes *Passam*/*Radiello*

Au vu des résultats il semble que le dispositif *Passam* ne soit pas adapté à la mesure du SO₂ sur des périodes d'une semaine. Il est donc préférable de poursuivre les campagnes de mesures sur l'agglomération de Nouméa (7 jours), avec les tubes passifs de type *Radiello* pour leur précision satisfaisante, leur bonne corrélation vis-à-vis des données issues des analyseurs automatiques ainsi que pour leur bonne répétabilité.

Évolution des concentrations ambiantes

Globalement les concentrations en dioxyde de soufre sont relativement stables depuis 2009. En zones industrielles le SO₂ est plus abondant que sur les autres typologies de sites, bien que tous les sites industriels ne soient pas autant impactés.

Campagnes futures

La présence de la centrale thermique de Doniambo à l'entrée de l'agglomération de Nouméa, émettant entre autres du dioxyde de soufre, a été à l'origine de la mise en place du suivi de ce polluant sur la ville. L'utilisation croissante de fioul à plus faible teneur en soufre pour le fonctionnement de la centrale atténue cette problématique depuis 2013.

Les résultats d'analyses de Scal'Air indiquent qu'une campagne de mesures tous les deux ans au lieu d'une par an est suffisante pour caractériser et suivre l'évolution spatiale des niveaux de dioxyde de soufre sur Nouméa, en complément des analyseurs automatiques. Le SO₂ ne sera donc pas mesuré par tube passif en 2018.

Afin de répondre aux critères de représentativité annuelle recommandée par la réglementation européenne, l'échantillonnage s'effectuera sur une période minimale de 8 semaines réparties de manière homogène sur l'année, et non plus une campagne par saison..

➤ Le dioxyde d'azote

Inter-comparaison des tubes *Passam*/*Radiello*

En ce qui concerne le dioxyde d'azote, les deux marques de dispositifs passifs sont satisfaisantes avec chacune leurs avantages. Les tubes *Passam* ont tendance à surestimer les concentrations ambiantes tandis que ceux de *Radiello* les sous-estiment.

À noter que la plupart des études menées par les associations de surveillance de la qualité de l'air en métropole sur le dioxyde d'azote sont effectuées avec des tubes *Passam*, plus abordables financièrement.

Scal'Air poursuivra donc ses campagnes de mesure du NO₂ avec le dispositif *Passam*.

Évolution des concentrations ambiantes

Le trafic routier en Nouvelle-Calédonie est à la hausse ces dernières années. Pour autant, les concentrations en dioxyde d'azote mesurées sont relativement stables avec une légère tendance à la baisse malgré une augmentation en juillet 2017. Le changement de matériel de mesure pourrait par ailleurs expliquer ce biais baissier malgré une augmentation du nombre de véhicules circulants ; en ce sens, il n'est pas possible de conclure quant à la tendance de fond des dernières années.

Les valeurs minimales et maximales se maintiennent en deçà de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (valeur seuil de l'objectif de qualité de l'air annuel) depuis 2015.

Campagnes futures

L'absence de station fixe de type « trafic routier » et le fait qu'aucune station fixe existante ne permette d'appréhender l'évolution des niveaux de dioxyde d'azote sur l'agglomération soulignent la nécessité de suivre ce polluant.

Dans une perspective d'amélioration continue, il serait préférable d'augmenter le nombre annuel de campagnes de mesures afin d'échantillonner une plus grande partie de l'année. Cette méthode répondra aux recommandations métropolitaines et permettra en outre d'apporter des données nécessaires au calage du modèle de dispersion de la pollution atmosphérique actuellement déployé sur l'agglomération de Nouméa.

7. Annexe

Annexe 1 : Calcul utilisé pour la correction des données brutes des tubes passifs de type *Passam*

NO ₂	SO ₂	
<p>Étape 1 : T, P, E</p> $C_{(T_{ext}, P_{ext})} = C_{(T, P)} \times E \times \left(\frac{T_1}{T_{ext}} \right)^{\left(\frac{3}{2} \right)} \times \frac{P_{ext}}{P_1}$	<p>Étape 1 : T, P</p> $C_{(T_{ext}, P_{ext})} = C_{(T, P)} \times \left(\frac{T_1}{T_{ext}} \right)^{\left(\frac{3}{2} \right)} \times \frac{P_{ext}}{P_1}$	<p>Avec : C (t, p) : concentration en µg/m³ fournie par le laboratoire (<i>Passam AG</i>) (conditions expérimentales) T₁ : température de référence, 294.25 K (21,1°C) P₁ : pression de référence, 1013 hPa T_{ext} : température moyenne durant le prélèvement en K P_{ext} : pression moyenne durant le prélèvement en hPa E : débit d'échantillonnage.</p>
<p>Étape 2 : Standardisation</p> $C_{(T_0, P_0)} = C_{(T_{ext}, P_{ext})} \times \frac{T_{ext}}{T_0} \times \frac{P_0}{P_{ext}}$	<p>Étape 2 : Standardisation</p> $C_{(T_0, P_0)} = C_{(T_{ext}, P_{ext})} \times \frac{T_{ext}}{T_0} \times \frac{P_0}{P_{ext}}$	<p>Avec : C (Text, Pext) : concentration en µg/m³ corrigée de l'influence de la température et de la pression moyenne extérieure (étape 1) T₀ : température standard, 293.15 K (20°C) P₀ : pression standard, 1013 hPa</p>

Annexe 2 : Caractérisation des typologies de sites

Il existe plusieurs nomenclatures des typologies de site de mesures définies au niveau européen. Toutes ces nomenclatures intègrent 5 grandes familles de typologies : urbaine, périurbaine, régionale (ou rurale), industrielle et trafic. La classification française reprend ces familles.

Nouméa est principalement concernée par les typologies « urbaine de fond », « proximité industrielle » et « proximité trafic ». Une des trois typologies a été attribuée à chacun des sites de mesures, selon que le site soit urbain de fond, ou qu'il soit sous l'influence majoritaire du trafic ou de l'industrie. Les sites périurbains ont été assimilés par approximation à des sites urbains de fond.

Un site de mesures peut être, selon les cas, représentatif d'une zone géographique plus ou moins étendue :

- Les sites urbains de fond sont volontairement placés à une certaine distance des sources d'émission de polluants (sites industriels, axes routiers importants...). Ils ne sont donc en principe pas directement influencés par une source connue. Ces sites de mesures sont généralement considérés comme représentatifs de la qualité de l'air pour une zone délimitée par un cercle d'environ un kilomètre de rayon

autour du point de mesures. Bien entendu, il s'agit de caractéristiques générales à apprécier en fonction de l'environnement immédiat du site et des préconisations techniques en la matière [3].

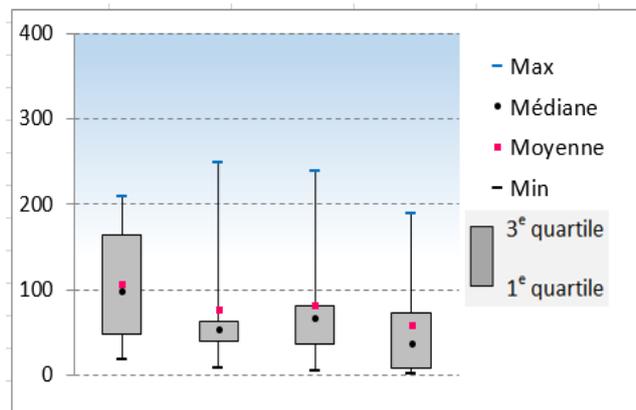
- Les sites de typologie « trafic » ou « industrielle » sont quant à eux susceptibles de mesurer une pollution de proximité, c'est-à-dire une pollution souvent importante, mais avec une extension géographique très variable, et généralement limitée. La représentativité de ces types de sites, lorsqu'ils mesurent des niveaux importants, est plus limitée, de l'ordre de quelques dizaines à une centaine de mètres. Par exemple la pollution due au trafic devient faible dès lors que l'on s'éloigne de quelques dizaines de mètres d'un axe routier. Pour les sites « trafic » la représentativité peut s'assimiler à une bande de part et d'autre de l'axe routier.

La typologie des sites réfère avant tout la répartition spatiale de la pollution, mais également, de façon intrinsèque, la variation des concentrations dans le temps. En effet, un site « de proximité » aura plus tendance à être soumis à des « pics » de pollution, autrement dit des valeurs pouvant être très élevées pendant une courte durée. A l'inverse, un site « de fond » relève généralement des niveaux plus faibles, mais avec moins de variations dans le temps.

Le tableau ci-après présente les différentes classes ou typologies de point de mesure, selon les travaux de l'ADEME.

	Urbaine (de fond)	Industriel	Trafic
Type de communes/ zones	pôles urbains	Tous types de communes à l'exclusion des communes urbaines ayant une densité de population supérieure à 4 000 hab /km ² .	Ces points de mesure se situent en espace urbain ou éventuellement rural (bord d'autoroute...) en priorité dans une zone représentative en termes de trafic et de population exposée (riverains, automobilistes, ...).
Types d'émetteurs	<p>Les sources responsables sont plutôt du type surfacique et multi-émetteurs. Les émetteurs se situent à l'intérieur de l'aire urbaine et sont les principaux facteurs de pollution atmosphérique. Le point de mesure ne se trouve pas sous l'influence dominante ou prépondérante d'une source industrielle, sauf si la densité de population dans un rayon de 1 km est supérieure à 4 000 hab / km².</p> <p>La distance aux voies de circulation routière dépend du TMJA (Trafic Moyen Journalier Annuel dans les deux sens) exprimé en véhicules/jour, la distance étant prise de la verticale du point de prélèvement au bord de la première voie de circulation, voie de bus ou de stationnement.</p> <p>Densité de population : 3000 hab/km² pour les agglomérations de moins de 500 000 habitants. Pour les zones urbaines n'atteignant pas ces densités, il est recommandé de rechercher un site représentatif de la densité maximale de population.</p>	<p>Cette catégorie doit être représentative d'une ou plusieurs source(s) industrielle(s) locale(s) importante(s) (priorité aux ICPE). Le point de mesure peut être sous l'influence de plusieurs émetteurs d'une même zone industrielle.</p> <p>Ce type de point de mesure se situe en proximité ou à l'intérieur d'une zone ou d'un site industriel caractéristique en termes d'activité industrielle et de quantités de polluants émis.</p>	<p>La station doit être sous l'influence directe de la source linéaire, sans aucun obstacle.</p> <p>Ce type de point de mesure doit se situer à proximité :</p> <ul style="list-style-type: none"> - soit d'une voirie supportant un trafic supérieur à 10 000 véhicules par jour, - soit d'une voie type "canyon" comportant un risque d'accumulation de pollution.

Annexe 3 : Guide de lecture de la boîte à moustache ou boxplot



Une "boîte à moustaches" ou "Box Plot" est une représentation graphique qui permet de résumer une variable de manière simple et visuelle, d'identifier les valeurs extrêmes et de comprendre la répartition des valeurs observées.

▪ Les 1^e et 3^e quartiles correspondent aux bordures inférieure et supérieure du rectangle gris.

- La hauteur de cette boîte est un bon indicateur de la dispersion des résultats puisqu'elle contient 50% des données.
- La médiane ou percentile 50 nous renseigne sur le milieu de la série c'est-à-dire qu'il existe autant de valeur supérieures qu'inférieures à cette valeur dans l'échantillon. À ne pas confondre avec la moyenne.
- La moyenne correspond à la valeur moyenne.
- Les minimum et maximum sont représentés par les extrémités des moustaches.

La longueur des moustaches renseigne sur la dispersion des valeurs situées au début de la série ordonnée (les valeurs les plus petites correspondant à 25% des observations) ou à la fin de celle-ci (les valeurs les plus grandes correspondant aussi à 25% des observations). De façon générale, la boîte et les moustaches seront d'autant plus étendues que la dispersion de la série statistique est grande.

8. Références bibliographiques

- ¹ Scal'Air. *Campagne de mesure par échantillonnage passif SO₂-NO₂-O₃ sur la ville de Nouméa.* Juin 2009.
Scal'Air. *Campagne de mesure par échantillonnage passif SO₂-NO₂-O₃ sur la ville de Nouméa du 18 au 25 février 2010.* Juillet 2010.
Scal'Air. *Campagne de mesure par échantillonnage passif SO₂-NO₂ sur la ville de Nouméa du 8 juin au 15 juin 2011.* Décembre 2011.
- ² ASPA 12090702-ID - *Analyse statistique exploratoire des données issues des campagnes de mesure temporaire réalisées par Scal'Air sur l'agglomération de Nouméa.*
- ³ ADEME – LCSQA. Guide méthodologique « *Échantillonneurs passifs pour le dioxyde d'azote* ». ADEME (2002).