



**ÉTUDE SUR LA SANTE DES ECOLIERS EN RELATION
AVEC LA QUALITE DE L'AIR A NOUMEA.
ÉTUDE DE PANEL DU 15 JUILLET AU 2 SEPTEMBRE 2012**

Rapport final
Version du 4 juillet 2013

Sommaire

1	INTRODUCTION	4
1.1	OBJECTIFS DE L'ETUDE	5
1.2	ZONES D'ETUDE.....	5
1.3	PERIODE D'ETUDE.....	6
2	MATERIEL ET METHODES	6
2.1	DEROULEMENT DE L'ETUDE	6
2.2	MODE DE RECUEIL DES DONNEES	6
2.3	METHODES STATISTIQUES	6
2.3.1	<i>Transformation de variables</i>	<i>7</i>
2.3.2	<i>Analyses descriptives.....</i>	<i>7</i>
2.3.3	<i>Etude de panel.....</i>	<i>7</i>
3	RESULTATS.....	10
3.1	RESULTATS DESCRIPTIFS	10
3.1.1	<i>Caractéristiques socio-démographiques des enfants.....</i>	<i>10</i>
3.1.2	<i>Caractéristiques environnementales des enfants.....</i>	<i>11</i>
3.1.3	<i>Santé des enfants à l'inclusion</i>	<i>12</i>
3.1.4	<i>Evolution de la proportion d'enfants avec symptômes durant l'étude</i>	<i>14</i>
3.1.5	<i>Facteurs météorologiques.....</i>	<i>15</i>
3.1.6	<i>Pollution atmosphérique</i>	<i>16</i>
3.2	FACTEURS LIES AUX SYMPTOMES ET AUX MALADIES ALLERGIQUES	19
3.3	ETUDE DE LA RELATION A COURT TERME ENTRE SYMPTOMES ET POLLUANTS	22
3.4	ANALYSE DE SENSIBILITE : EXCLUSION DES JOURS DE PICS DE SO ₂	23
3.5	ANALYSES STRATIFIEES	24
3.5.1	<i>Enfants « asthma-like » (crise d'asthme ou sifflements ou médicaments pour l'asthme) vs. non « asthma-like ».....</i>	<i>24</i>
3.5.2	<i>Enfants avec rhume des foins et sans rhume des foins</i>	<i>25</i>
4	DISCUSSION	26
5	ANNEXES	28

1 INTRODUCTION

Le gouvernement de Nouvelle Calédonie a souhaité mettre en place une étude épidémiologique sur les répercussions sanitaires de la pollution sur la commune de Nouméa. Les mesures de polluants, qui sont effectuées par l'association Scal-Air, ont débuté en 2007. Les principales sources de pollution sont représentées par l'activité industrielle du secteur de Doniambo et le trafic routier. La pollution d'origine industrielle est une pollution de pointe épisodique, c'est-à-dire de courte durée et très localisée. Elle se caractérise par la présence de concentrations moyennes à fortes en dioxyde de soufre et en particules PM₁₀. Ces polluants se dispersent sous la forme de panaches de fumée depuis la zone industrielle de Doniambo, en fonction de la direction et de la force des vents dominants qui peuvent être très réguliers ou très variables selon la période de l'année. D'après le bilan 2011 de Scal-Air, les quartiers surveillés les plus exposés à cette pollution de pointe sont Logicoop, Montravel et la Vallée du Tir. Cette pollution tend à diminuer depuis 2008, ceci s'expliquant par l'utilisation de fioul à très basse teneur en soufre par l'industriel dans des conditions de vents favorables à la dispersion du panache de fumée vers les terres. Les niveaux moyens de particules PM₁₀ restent stables et inférieurs aux valeurs de référence, mais ils peuvent atteindre des valeurs élevées sur de courtes durées, notamment en début de matinée par vents faibles. Les niveaux moyens de NO₂ restent faibles et en dessous des valeurs de seuil européennes, mais le laboratoire mobile placé au centre-ville de Nouméa a relevé des niveaux moyens de NO₂ quatre fois supérieurs à ceux mesurés au niveau des stations fixes.

Une mission exploratoire a été menée conjointement par la DASS (Dr Sylvie Laumond et Loïc Hattermann), l'EHESP (Pr Denis Bard), l'ASPA (M. Emmanuel Rivière) et SEPIA-Santé (Dr Claire Ségala) entre le 16 et 20 Avril 2012 pour identifier les différentes sources de données disponibles ; les méthodes d'analyse épidémiologique envisagées ; identifier les méthodes les plus adaptées afin de spatialiser les données recueillies sur la pollution ; proposer un ou des protocoles d'étude.

Suite à cette mission, il a été prévu de réaliser deux études : une étude de panel s'intéressant aux effets à court terme de la pollution sur la santé du fait de pics de SO₂ et d'émissions de particules liées au site industriel, et une étude géographique écologique (entre 2008 et 2012) s'intéressant aux liens entre concentrations annuelles de polluants spatialisées à une échelle géographique fine et des indicateurs sanitaires, tels que mortalité et admissions hospitalières, en prenant en compte le statut socio-économique de la population.

Ce rapport d'étude présente la méthodologie et les résultats de l'étude de panel. Celle-ci a concerné des enfants scolarisés dans des écoles primaires car les stations de mesure de polluants sont situées dans ou à proximité des écoles, et que les enfants constituent une population sensibles aux effets de la pollution atmosphérique. Rappelons de plus que parmi l'ensemble des écoliers, les sujets asthmatiques et allergiques constituent une population particulièrement susceptible ; l'étude ISAAC réalisée en Nouvelle-Calédonie, en 1998, avait montré des prévalences de ce type d'affections comparables avec celles de la métropole.

1.1 Objectifs de l'étude

L'étude de panel a été réalisée dans le but d'étudier la relation à court terme entre les concentrations journalières des principaux polluants, mesurés par les stations, et la survenue de symptômes respiratoires (irritations du nez et des yeux, toux, gêne respiratoire et fièvre) chez des enfants de CM1 et CM2 recrutés dans des écoles primaires de Nouméa. Un objectif secondaire est de juger si l'impact de la pollution est plus important chez les enfants potentiellement plus sensibles, les enfants allergiques et asthmatiques.

1.2 Zones d'étude

Sept écoles situées dans cinq quartiers de la ville ont été sélectionnées pour participer à cette étude. Les écoles sélectionnées sont celles dans lesquelles des stations de mesures de polluants sont installées et les écoles situées à proximité immédiate d'une station de mesure. Le tableau 1 présente l'ensemble des écoles par quartier ainsi que les polluants mesurés dans celles-ci.

Nom de l'établissement	Quartiers	Polluants mesurés
Ecole Isidore NOELL	Montravel	SO ₂ NO ₂ PM ₁₀ Max-SO ₂ ¹
Ecole Gustave MOUCHET	Montravel	SO ₂ NO ₂ PM ₁₀ Max-SO ₂
Ecole François GRISCELLI	Vallée du Tir	SO ₂
Ecole Gustave LODS	Logicoop	SO ₂ NO ₂ PM ₁₀ Max-SO ₂
Ecole Edmond DESBROSSE	Kaméré	SO ₂
Ecole Paul-BOYER et Ecole Marguerite CARLER	Faubourg Blanchot	SO ₂ NO ₂ PM ₁₀ Max-SO ₂ O ₃ -8h
Ecole Candice KOCH	Faubourg Blanchot	SO ₂ NO ₂ PM ₁₀ Max-SO ₂ O ₃ -8h

Tableau 1 : Description des stations de mesures de polluants et des écoles

La figure 1 représente la situation géographique des différentes écoles de l'étude ainsi que la position de l'usine de Doniambo.



Figure 1 : Répartition géographique des écoles incluses dans l'étude et de l'usine de Doniambo

¹ Les mesures de polluants sont les moyennes journalières. Max_SO₂ représente la valeur maximale horaire de SO₂ mesurée pendant la journée et O₃-8h représente le maximum journalier de la moyenne glissante sur 8h de quantités d'O₃.

1.3 Période d'étude

L'étude a duré 6 semaines, soit 42 jours, entre juillet et septembre 2012 (période de l'année où les vents sont faibles et les niveaux de pollution plus élevés). Les données de pollution et météorologiques nous ont été fournies respectivement par l'association Scal-Air et Météo-France et ont été mesurées entre le 15 juillet et le 2 septembre 2012.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 Déroulement de l'étude

Une fiche technique (annexe 1) a été rédigée à destination des enseignants. Elle renseignait l'ensemble des procédures d'information (aux parents et enfants), de recueil et transmission des données entre les écoles et la DASS.

2.2 Mode de recueil des données

Un questionnaire individuel (annexe 2) a été rempli au début de l'étude par les enfants pendant le temps scolaire sous la surveillance de l'enseignant. Il comprend des données sociodémographiques, les antécédents personnels, la prise de médicaments, le tabagisme passif et tous les éléments du mode de vie pouvant influencer sur la santé.

Les symptômes respiratoires et les traitements ont été recueillis dans un carnet journalier (annexe 3) par les élèves eux-mêmes durant toute la période de l'étude. Le cahier était constitué de six feuilles hebdomadaires.

Un numéro d'ordre a été attribué à chaque volontaire et reporté sur l'ensemble des documents de celui-ci. Aucune donnée nominative n'a été recueillie.

2.3 Méthodes statistiques

L'étude vise à modéliser la relation à court terme existant entre les symptômes (variables à expliquer) et les mesures de polluants (variables d'intérêt), en ajustant sur les variables temporelles et les facteurs environnementaux tels que la météorologie.

L'ensemble des analyses a été réalisé avec le logiciel SAS® avec un risque de première espèce α de 5 %, à l'exception du modèle GAMM (modèle additif généralisé mixte) réalisé avec le logiciel R.

2.3.1 Transformation de variables

Après avoir saisi l'ensemble des données sous le logiciel Access, la qualité de remplissage des questionnaires journaliers a été analysée et plusieurs variables ont été recodées pour l'analyse statistique. Les trois modalités des variables de symptôme ont été regroupées afin d'obtenir une variable binaire (0 si symptôme = « pas du tout », 1 si symptôme = « un peu » ou « beaucoup »).

Les données manquantes des variables météorologiques ont été imputées en moyennant les valeurs des deux jours précédents et des deux jours suivants. Des décalages (ou « lags ») ont été créés pour chaque facteur météorologique et chaque polluant étudié. Enfin, pour les analyses de sensibilité, la variable binaire « asthma-like » a été créée à partir de trois variables du questionnaire d'inclusion : sifflements dans la poitrine durant les 12 derniers mois ou crise d'asthme durant les 12 derniers mois ou prise de médicaments régulière pour l'asthme.

Les cinq symptômes ont été analysés : fièvre, irritations du nez, irritations des yeux, toux et difficultés respiratoires.

2.3.2 Analyses descriptives

Des analyses descriptives ont été menées sur l'ensemble des données collectées : données cliniques et environnementales. L'évolution des symptômes dans le temps est étudiée à l'aide de graphiques. La description des distributions des variables qualitatives est effectuée en calculant les effectifs et pourcentages, et celle des variables quantitatives en calculant les moyennes, écart-types, minimums et maximums.

2.3.3 Etude de panel

Les panels sont composés de données longitudinales, c'est-à-dire de variables mesurées à plusieurs reprises au cours du temps sur les mêmes sujets. Ces données présentent donc une corrélation importante, les mesures sont ordonnées et la corrélation entre deux mesures peut dépendre de l'intervalle de temps qui les sépare. L'approche retenue dans cette étude pour étudier des données de ce type est le modèle marginal estimé par la méthode « d'Equations d'Estimation Généralisées » (GEE). Le modèle additif généralisé mixte (GAMM) a préalablement été utilisé car il permet d'introduire des variables sans relation linéaire prédéfinie avec la variable à expliquer (contrairement au modèle GEE) et d'obtenir des graphiques représentant la forme de ces relations.

2.3.3.1 Modèle GAMM

Le modèle GAMM (modèle additif généralisé mixte) est une extension du modèle GLMM (modèle linéaire généralisé mixte). Il n'implique pas de relation linéaire entre les variables explicatives et à expliquer grâce à l'utilisation de splines pénalisées dans le modèle, et il permet d'analyser des données corrélées. Il fournit des courbes pour les variables introduites sous forme de splines, permettant de visualiser la forme de la relation entre la variable explicative et la variable à expliquer. De plus, il est possible de spécifier dans le modèle une matrice de covariance. Ce modèle suppose qu'il n'y ait pas d'interactions avec les variables sous forme de splines.

Le but de cette étape est de vérifier la linéarité des relations entre la variable à expliquer et les variables explicatives (polluants, variables météorologiques) en les introduisant une à une sous forme de spline dans le modèle.

Les analyses ont été réalisées avec le logiciel R® (v.3.0.0) à l'aide du package « mgcv ». Le modèle est le suivant :

Symptôme (binaire) = spline (jour) + weekend + humidité relative + température maximale + pression atmosphérique + vitesse du vent + spline (pollution)

La variable « weekend » est une variable binaire égale à 1 pour les jours de weekend ou jours fériés et égale à 0 pour les jours de la semaine, elle permet de différencier les jours de présence à l'école des autres jours. Pour prendre en compte une éventuelle tendance des symptômes au cours du temps, la variable « jour » (de 1 à 42) est introduite systématiquement dans le modèle GAMM sous forme de spline.

2.3.3.2 Modèle GEE

Les modèles GEE ont été introduits pour l'analyse des données corrélées par Liang et Zeger. Ils modélisent l'espérance marginale de la variable à expliquer et en estiment les paramètres par la résolution d'équations d'estimation généralisées (GEE). Ces équations font intervenir une matrice de covariance dite « de travail ». Il s'agit d'un modèle linéaire généralisé pour lequel est défini le type de corrélation entre les résidus des observations d'un même individu. Les matrices de variance possibles dans ce type d'étude sont multiples. Dans le cas de cette étude, la matrice autorégressive d'ordre 1 (AR1) a été utilisée.

La linéarité de la relation entre les variables explicatives et les variables à expliquer est préalablement vérifiée dans l'analyse précédente en GAMM. Suite au constat de la non-linéarité de la variable « jour » dans le modèle GAMM, la tendance a été prise en compte dans le modèle GEE sous forme d'une variable en 3 classes, chaque classe correspondant à 2 semaines de l'étude.

Si la linéarité des variables météorologiques et du polluant étudié est vérifiée, le modèle GEE est le suivant :

Symptôme (binaire) = tendance + weekend + humidité relative + température maximale + pression atmosphérique + vitesse du vent + polluant.

Si la relation entre la variable d'intérêt et la variable à expliquer n'est pas linéaire, elle a été approchée avec la méthode de régression linéaire par morceau (soit 2 droites ayant des pentes différentes de part et d'autre d'un point d'inflexion). Le modèle GEE devient :

Symptôme (binaire) = tendance + weekend + humidité relative + température maximale + pression atmosphérique + vitesse du vent + intercept_inf + polluant_inf + intercept_sup + polluant_sup.

Les résultats avec l’ozone, parfois incohérents, ne sont pas présentés dans ce rapport. Rappelons que l’ozone n’est mesuré que dans une seule station pour l’ensemble de la zone d’étude et de par sa formation secondaire, a des concentrations souvent inverses de celles des autres polluants.

Ces analyses ont été réalisées à l’aide de la procédure GENMOD sous le logiciel SAS® (v.9.3). Les odds-ratios sont exprimés pour une augmentation de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ de polluant.

2.3.3.3 Choix des « décalages »

Les effets de la pollution et des facteurs météorologiques peuvent être dus à l’exposition immédiate mais aussi à l’exposition des jours précédant l’évènement étudié. C’est pourquoi les décalages (de J-1 à J-6) et les moyennes sur plusieurs jours ont été créés pour chaque facteur météorologique et chaque polluant. Par exemple, lag1so2 représente la quantité de SO_2 mesurée à J-1 et moy01so2 représente la moyenne des quantités de SO_2 mesurées à J0 et J-1.

Le choix des décalages des facteurs météorologiques a été réalisé à l’aide du QIC (Quasi-likelihood Information Criterion)² dans un modèle GEE univarié, tandis que le choix des décalages des mesures de polluants a été réalisé à l’aide de la significativité du paramètre β de la variable de pollution dans un modèle GEE multivarié incluant les facteurs temporels et les décalages de données météorologiques retenues.

Après examen des odds-ratio obtenus, les relations entre les polluants et les symptômes sont présentées pour un effet du jour même et de la moyenne des concentrations sur 3 jours (jour même, la veille et l’avant-veille).

² QIC : mesure la qualité relative d’un modèle statistique. Plus sa valeur est faible, mieux le modèle est ajusté.

3 RESULTATS

3.1 Résultats descriptifs

3.1.1 Caractéristiques socio-démographiques des enfants

469 enfants de CM1 et CM2, scolarisés à Nouméa, ont participé à l'étude après signature du consentement par leurs parents. Le tableau ci-dessous présente les principales caractéristiques sociodémographiques des enfants et leur répartition par école.

	N (%)
Sexe	
Garçons	255 (53,6)
Filles	214 (46,4)
Ecole	
BOYER-CARLIER	140 (30,3)
Candice KOCH	83 (17,7)
Gustave LODS	81 (17,3)
Edmond DESBROSSE	58 (12,4)
Isidore NOELL	37 (7,9)
Gustave MOUCHET	35 (7,5)
François GRISCELLI	35 (7,0)
Activité du père ou beau-père	
Travaille	392 (89,5)
Chômage	26 (5,9)
Autre	20 (14,6)
Résidence en Nouvelle Calédonie	
Né en Nouvelle Calédonie	350 (79,2)
Réside depuis plus d'un an	74 (16,7)
Réside depuis moins d'un an	18 (4,1)
Communauté	
Mélanésiens	101(23,1)
Européens	104(23,7)
Polynésiens	38(8,7)
Asiatiques	10(2,3)
Métis	128(29,3)
Autres	57(13,0)

Tableau 2 : Caractéristiques socio-démographiques des enfants

54 % des enfants inclus dans l'étude sont des garçons, ils ont entre 8 et 12 ans (9,8 en moyenne). L'école la plus représentée dans l'étude est l'école BOYER-CARLIER située dans le quartier de Faubourg Blanchot. Les enfants ont majoritairement un père ou beau-père qui travaille. Près de 80 % des enfants inclus dans l'étude sont nés en Nouvelle-Calédonie. Métis, Mélanésiens, et Européens sont les trois principales communautés d'appartenance déclarées par les enfants.

Communauté	Montravel	Vallée du tir	Logicoop	Kamere	Faubourg-Blanchot	Ensemble
Mélanésiens	47 (71,2)	16 (48,5)	20 (28,2)	7 (12,5)	11 (5,2)	101 (23,1)
Européens	0	1 (3,0)	2 (2,8)	0 (0,0)	101 (47,6)	104 (23,7)
Polynésiens	5 (7,6)	0	19 (26,8)	9 (16,1)	5 (2,4)	38 (8,7)
Asiatiques	0	1 (3,0)	0 (0,0)	1 (1,8)	8 (3,8)	10 (2,3)
Métis	11 (16,7)	12 (36,4)	26 (36,6)	25 (44,6)	54 (25,5)	128 (29,2)
Autres	3 (4,5)	3 (9,1)	4 (5,6)	14 (25,0)	33 (15,6)	57 (13,0)
Ensemble	66 (100,0)	33 (100,0)	71 (100,0)	56 (100,0)	212 (100,0)	438 (100,0)

Tableau 3 : Fréquence des enfants selon leur communauté et leur secteur

On constate une certaine hétérogénéité dans la répartition des différentes communautés entre les différents quartiers. Les mélanésiens sont les plus nombreux dans le quartier de Montravel et vallée du Tir, les européens dans celui du Faubourg Blanchot et les polynésiens sont surtout présents dans le quartier de Logicoop.

3.1.2 Caractéristiques environnementales des enfants

	N (%)
Type de logement	
Maison	290 (65,8)
Appartement	121 (27,4)
Cabane	26 (5,9)
Autre	4 (0,9)
Tabagisme de l'entourage	
Oui	372 (79,3)
Non	97 (20,7)
Distance domicile - route	
< 20 m	249(57,5)
20 -50 m	88(20,3)
> 50 m	96(22,2)
Fréquence passage voitures	
Sans arrêt	99(21,8)
Souvent	234(51,4)
Rarement / Jamais	122(26,8)

Tableau 4 : Caractéristiques environnementales des enfants

Distance domicile-route / Fréquence passage voitures	Jamais - rarement	Souvent	Sans-arrêt	Ensemble
< 20 m	70 (59,8)	121(55,0)	56 (60,9)	247 (57,6)
20 m – 50 m	25 (21,4)	49 (22,3)	12 (13,0)	86 (20,0)
> 50 m	22 (18,8)	50 (22,8)	24 (26,1)	96 (22,4)
Ensemble	117 (100,0)	220 (100,0)	92 (100,0)	429 (100,0)

Tableau 5 : Fréquence des enfants selon la distance entre leur domicile et la route et la fréquence de passage des voitures devant leur habitation

Les enfants vivent principalement dans une maison ou un appartement. 79,3 % ont au moins un fumeur dans leur entourage (parents, frère, sœur ou autres). 57% des enfants vivent à moins de 20 mètre d'une route et 22% à proximité d'une route avec un trafic incessant. Au final, 40,3% sont très exposés au trafic routier : vivant à moins de 20 mètres avec une fréquence « souvent » ou « sans arrêt » ou vivant à moins de 50 mètres avec une fréquence « sans arrêt ».

3.1.3 Santé des enfants à l'inclusion

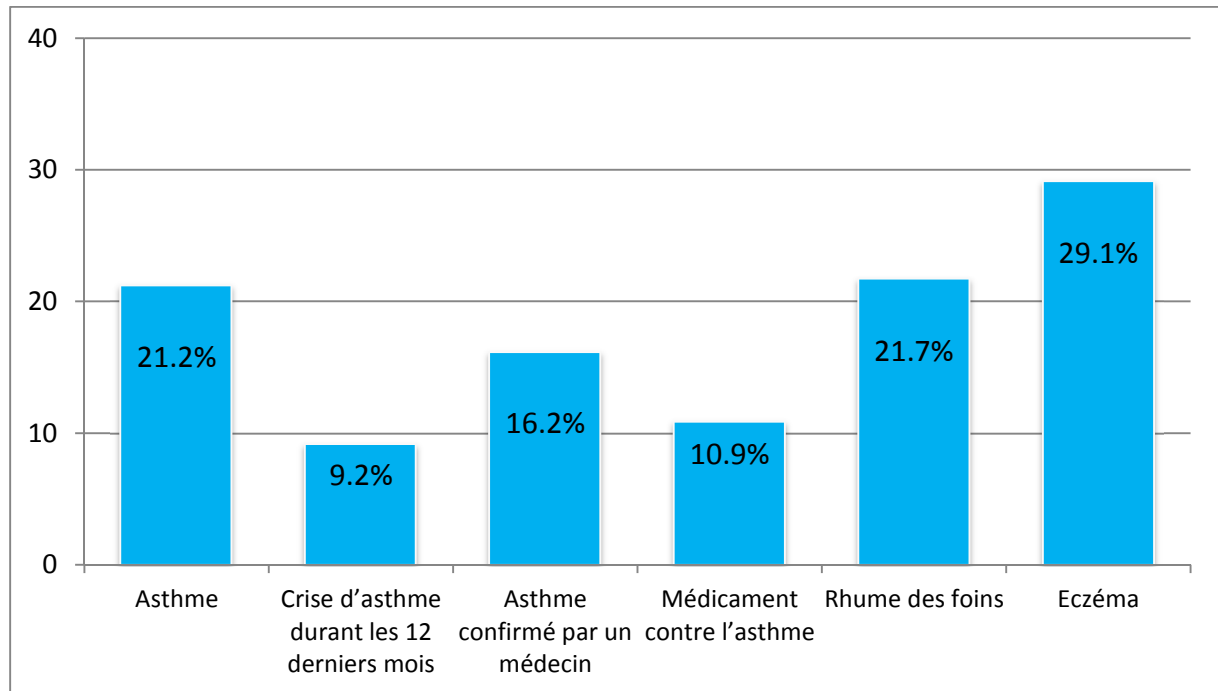


Figure 2 : Maladies respiratoires et allergiques à l'inclusion³

Les prévalences d'asthme et des maladies allergiques recueillies lors de l'inclusion sont importantes. L'eczéma est la maladie allergique la plus fréquente (29,1 % des enfants déclarent avoir déjà eu de l'eczéma au cours de leur vie). 21,2 % des enfants ont déjà fait une crise d'asthme au cours de leur vie et 21,7 % ont déjà eu le rhume des foins

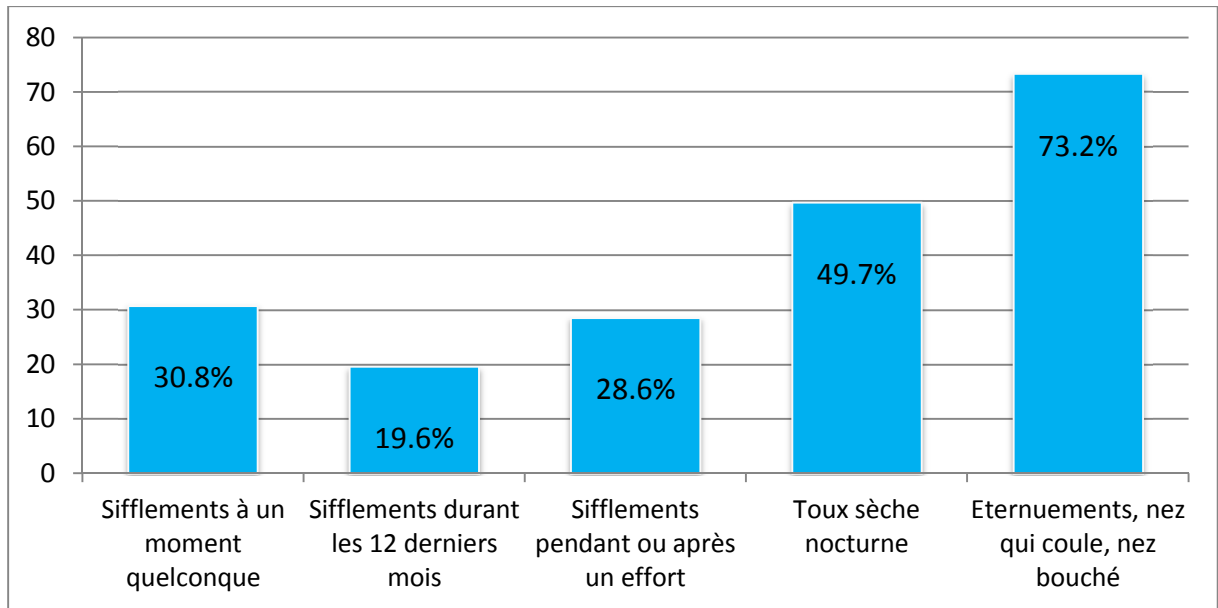


Figure 3 : Symptômes respiratoires des enfants à l'inclusion

La prévalence des symptômes respiratoires diffère selon le type de symptôme. Les sifflements dans la poitrine (à un moment quelconque, durant les 12 mois précédant l'étude, pendant ou après un effort) sont les plus rares avec des prévalences comprises entre 19 et 31 % alors que la toux sèche nocturne et les symptômes de type éternuements, nez bouché, nez qui coule (alors que l'enfant n'avait ni rhume ni grippe) sont plus fréquents avec des prévalences respectives de 50% et 73 %.

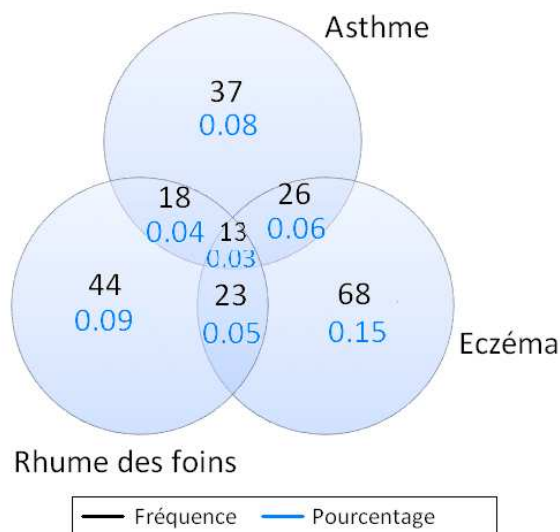


Figure 4 : Répartition des enfants par maladie

Les principales maladies allergiques sont l'asthme (enfants ayant déjà eu une crise d'asthme au cours de leur vie), le rhume des foins et l'eczéma. 49 % des enfants de l'étude ont au moins une de ces trois maladies. 15 % des enfants ont déclaré avoir deux maladies allergiques et 3 % des enfants ont déclaré avoir l'ensemble de ces trois maladies allergiques.

3.1.4 Evolution de la proportion d'enfants avec symptômes durant l'étude

Pour l'ensemble des écoles, le taux de réponse aux questionnaires journaliers est compris entre 90 et 100 % de réponses. Il ne varie pas selon le jour de la semaine, excepté dans l'école François GRISCELLI dans le quartier de la vallée du Tir où une baisse de taux de réponse a été observée les samedis et dimanche (75 % de réponse en moyenne).

Le détail relatif à la qualité du remplissage est présenté en annexe 4.

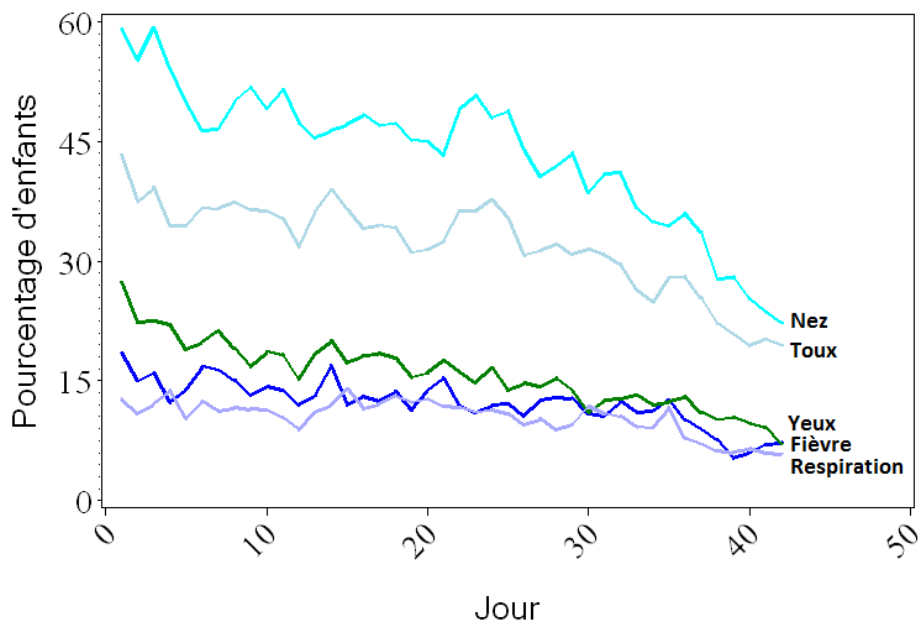


Figure 5: Evolution de la proportion d'enfants avec symptômes

Les irritations du nez (éternuements, nez qui coule, nez bouché,..) et la toux sont les symptômes les plus présents chez les enfants sur l'ensemble de la période étudiée. Au cours de la période, de moins en moins d'enfants déclarent avoir de la fièvre, des irritations des yeux (sensation de présence de « poussières », rougeur, larmoiement,..) ou du nez, de la toux ou encore des difficultés respiratoires (respiration sifflante, souffle court, crise d'asthme,...).

3.1.5 Facteurs météorologiques

Facteur	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum
Pluviométrie (mm)	1,75	5,06	0	27
Température moyenne (°C)	19,74	1,30	17,2	23,2
Température maximale (°C)	22,98	1,70	18	27
Pression atmosphérique (hPa)	1013,94	14,4	933,6	1019,7
Humidité relative (%)	70,21	7,56	60	86
Vitesse du vent (moyennes journalières) (m/s)	8,85	1,28	1,78	7,08

Tableau 6 : Statistiques sur les données météorologiques de Météo-France

Les facteurs météorologiques ont été mesurés par la station de Météo-France à Nouméa durant la période de l'étude. La pluviométrie est faible (1,75 mm en moyenne par jour), la température moyenne est de 19,7 °C, la pression atmosphérique est d'environ 1014 hPa en moyenne et l'humidité relative est de 70 %.

Le tableau suivant présente les corrélations entre les différents facteurs météorologiques mesurés pendant la période de l'étude.

Corrélations entre les facteurs météorologiques						
	Pluviométrie	Température moyenne	Température maximale	Pression atmosphérique	Humidité relative	Vitesse du vent
Pluviométrie	1.00000					
Température moyenne	-0.38315 0.0253	1.00000				
Température maximale	-0.43206 0.0085	0.72782 <.0001	1.00000			
Pression atmosphérique	-0.24261 0.1668	0.03896 0.8268	-0.04789 0.7880	1.00000		
Humidité relative	0.45423 0.0070	0.24958 0.1546	0.14156 0.4245	-0.09417 0.5963	1.00000	
Vitesse du vent	-0.18970 0.2751	0.30215 0.0824	-0.01643 0.9198	-0.09586 0.5897	0.06172 0.7288	1.00000

Tableau 7 : Corrélations entre les différents facteurs météorologiques

La pluviométrie est positivement liée à l'humidité relative tandis que la température moyenne et la température maximale sont également liées positivement. En revanche, la pluie est négativement liée aux températures moyenne et maximale.

L'évolution des facteurs météorologiques pendant l'étude est présentée en annexe 5.

3.1.6 Pollution atmosphérique

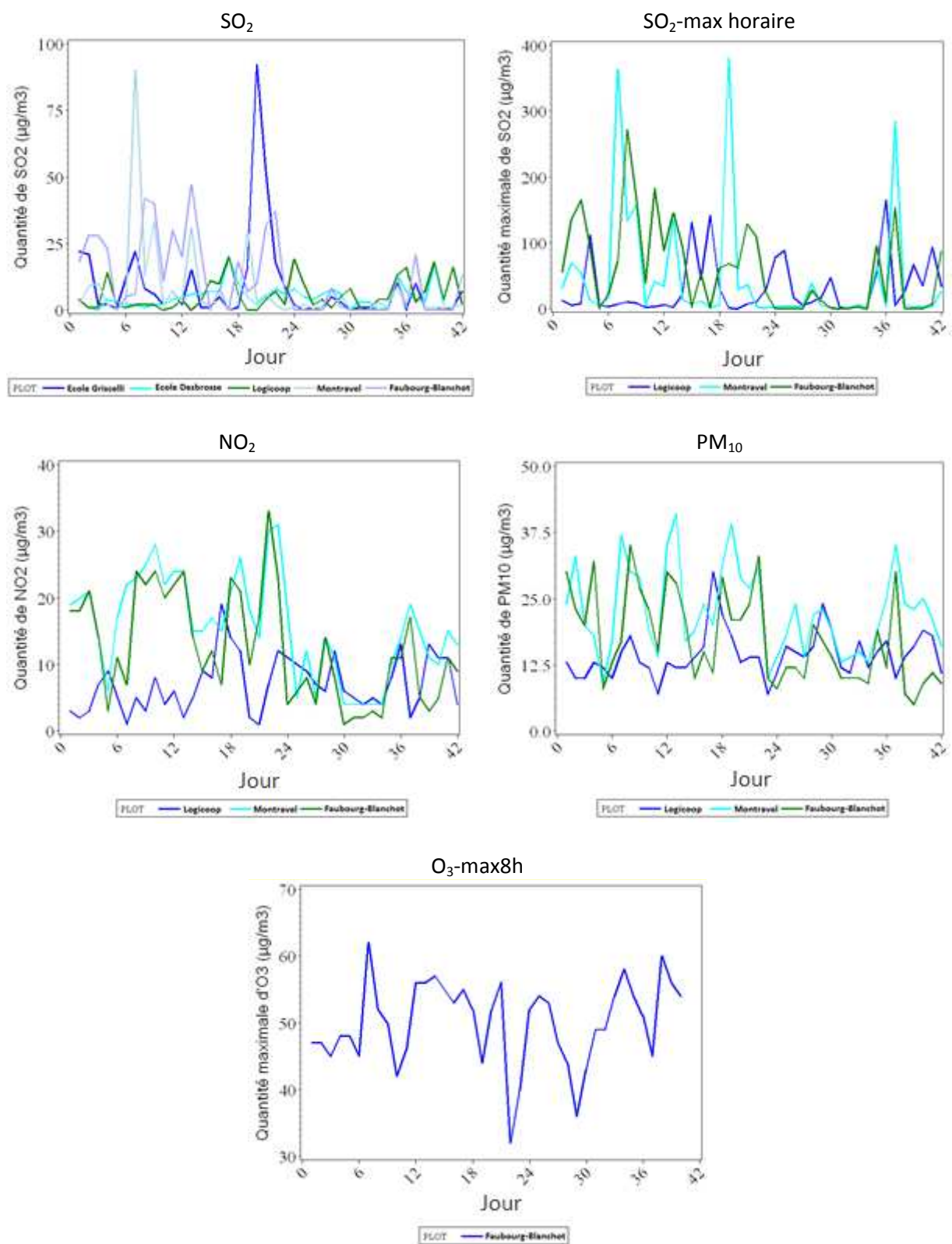


Figure 6 : Evolution des polluants pendant l'étude dans les différentes stations

Chacun des polluants mesurés présente de fortes variations au cours de la période d'étude, mais les concentrations diffèrent aussi selon les stations de mesure (hétérogénéité de la pollution sur la zone d'étude). Les « pics de pollution » n'ont pas lieu à la même date dans toutes les stations étudiées. C'est le cas notamment du SO₂ où deux pics importants sont relevés durant l'étude. L'un dans la station de Montravel le 29 juillet et le deuxième dans la station de l'école Griscelli, située dans la vallée du Tir, le 11 août. Le détail des évolutions des concentrations dans le temps par station est présenté en annexe 6.

Le tableau suivant présente les concentrations en polluants mesurés pendant la période étudiée.

Polluant	Stations	En µg/m ³			
		Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum
SO ₂ moyenne	Ecole Desbrosse	5,05	4,24	0	20
	Logicoop	5,57	5,77	0	20
	Montravel	7,59	15,66	0	90
	Ecole de Griscelli	8,55	16,32	0	92
	Faubourg Blanchot	11,79	13,87	0	47
SO ₂ max horaire	Logicoop	32,19	42,26	0	164
	Montravel	48,85	92,19	0	380
	Faubourg Blanchot	57,90	66,27	0	271
NO ₂	Logicoop	6,98	4,12	1	19
	Montravel	15,63	7,60	4	31
	Faubourg Blanchot	12,45	8,12	1	33
PM ₁₀	Logicoop	14,40	4,32	7	30
	Montravel	22,83	8,01	9	41
	Faubourg Blanchot	17,38	8,46	5	35
O ₃	Faubourg Blanchot	53,81	5,38	39	64

Tableau 8 : Description des concentrations de polluants dans les différentes stations

Rappelons que trois stations sont permanentes (Logicoop, Montravel et Faubourg Blanchot) et que deux stations sont temporaires (école Desbrosse dans le quartier Kamere et école Griscelli dans le quartier Vallée du Tir) et ne mesurent que le SO₂. Notons également qu'une seule station (Faubourg - Blanchot) mesure l'ozone.

On observe une augmentation de la concentration moyenne en SO₂ selon un gradient Nord-Sud. A noter cependant que les deux maximales de SO₂ sont observées à Montravel et Griscelli. Les maxima horaires de SO₂ ne sont disponibles que dans les trois stations permanentes. La moyenne de maxima horaire est plus élevée à Faubourg Blanchot, mais la maximale est observée à Montravel.

Pour NO₂ et PM₁₀, les valeurs les plus fortes sont observées à Montravel.

Les tableaux suivants présentent les corrélations des concentrations de chaque polluant entre les stations. Les corrélations entre polluants par station sont présentées en annexe 7.

➤ Corrélation entre les concentrations moyennes de SO₂ des différentes stations

Corrélation entre les moyennes journalières de SO ₂					
	Ecole DESBROSSE	Logicoop	Montravel	Ecole GRISCELLI	Faubourg Blanchot
Ecole DESBROSSE	1.00000				
Logicoop	0.50698 0.0008	1.00000			
Montravel	-0.11734 0.4768	-0.35146 0.0242	1.00000		
Ecole GRISCELLI	-0.01692 0.9175	-0.43610 0.0039	0.64416 <.0001	1.00000	
Faubourg Blanchot	-0.02394 0.8834	-0.34000 0.0276	0.71839 <.0001	0.69864 <.0001	1.00000

Tableau 9 : Comparaison des concentrations moyennes de SO₂

Les concentrations en SO₂ des différentes stations ne sont pas toujours corrélées. Les concentrations de Griscelli, Montravel et Faubourg Blanchot sont corrélées positivement, entre elles et négativement à celles de Logicoop. Celles de Logicoop et de l'école Desbrosse sont corrélées positivement entre elles. Vis-à-vis du SO₂, deux groupes de stations se différencient donc : les stations Griscelli, Montravel et Faubourg Blanchot d'un côté, et les stations de l'école Desbrosse et de Logicoop de l'autre.

➤ Corrélation entre les concentrations maxima horaires de SO₂ des différentes stations

Corrélation entre les concentrations maximales de SO ₂			
	Logicoop	Montravel	Faubourg Blanchot
Logicoop	1.00000		
Montravel	-0.34610 0.0266	1.00000	
Faubourg Blanchot	-0.22687 0.1485	0.76986 <.0001	1.00000

Tableau 10 : Comparaison des concentrations maximales de SO₂

Les concentrations de Montravel et du Faubourg Blanchot sont corrélées positivement entre elles, et négativement avec celles de Logicoop.

➤ Corrélation entre les concentrations moyennes de NO₂ des différentes stations

Corrélations entre les concentrations de NO ₂			
	Logicoop	Montravel	Faubourg Blanchot
Logicoop	1.00000		
Montravel	-0.14211 0.3754	1.00000	
Faubourg Blanchot	-0.13705 0.3868	0.88145 <.0001	1.00000

Tableau 11 : Comparaison des concentrations moyennes de NO₂

Comme pour le SO₂, les concentrations de NO₂ des stations de Montravel et de Faubourg Blanchot sont fortement corrélées, mais ne sont pas corrélées aux données de la station de Logicoop.

➤ Corrélation entre les concentrations moyennes de PM₁₀ des différentes stations

Corrélation entre les concentrations de PM ₁₀			
	Logicoop	Montravel	Faubourg Blanchot
Logicoop	1.00000		
Montravel	0.30750 0.0505	1.00000	
Faubourg Blanchot	0.00033 0.9984	0.60736 <.0001	1.00000

Tableau 12 : Comparaison des concentrations moyennes de PM₁₀

Nous retrouvons ici les mêmes résultats que pour les mesures de NO₂. Les données de la station de Montravel et de Faubourg Blanchot sont corrélées entre elles.

3.2 Facteurs liés aux symptômes et aux maladies allergiques

La prévalence des maladies et symptômes respiratoires décrits à l'inclusion ont été comparées dans les différentes strates des caractéristiques des enfants à l'aide du test exact de Fisher. Les tableaux 13 et 14 présentent les prévalences en pourcentage et le degré de significativité.

	Asthme	Asthme 12 mois	Asthme médecin	Médicament asthme	Rhume des foins	Eczéma
Sexe						
Garçon	27,13	11,34	22,27	15,38	20,99	28,40
Fille	14,49	7,01	8,91	6,07	22,75	30,14
P-value	<10⁻³	NS	<10⁻³	<0,05	NS	NS
Quartier						
Montravel	2,70	4,17	5,56	5,56	2,70	11,11
Valée du tir	21,21	6,06	9,09	9,09	12,12	12,12
Logicoop	22,22	8,64	18,52	12,35	20,99	22,50
Kamere	15,79	6,90	12,07	8,62	29,79	29,82
Faubourg Blanchot	25,45	12,0	20,98	12,98	27,93	36,57
P-value	<0,05	NS	<0,05	NS	<10⁻²	<10⁻³
Résidence						
Né en NC	21,71	9,14	17,43	11,14	21,10	26,82
Moins d'un an	16,67	11,11	16,67	11,11	16,67	44,44
Plus d'un an	20,27	10,81	14,86	10,81	30,14	40,54
P-value	NS	NS	NS	NS	NS	<0,05
Logement						
Cabane	8,00	0,00	7,69	0,00	4,00	12,50
Appartement ou maison	22,20	9,73	17,27	11,68	23,51	30,52
P-value	NS	NS	NS	NS	<0,05	NS
Tabagisme						
Oui	22,84	10,22	18,01	12,10	20,44	28,69
Non	14,29	9,73	9,28	11,68	26,97	30,68
P-value	NS	NS	<0,05	NS	NS	NS
Communauté						
Mélanésiens	13,86	9,90	11,88	8,91	16,00	22,00
Européens	24,04	12,50	19,23	15,38	29,81	45,63
Polynésiens	5,26	5,26	5,26	5,26	36,84	29,73
Asiatiques	20,00	20,00	20,00	10,00	20,00	40,00
Métis	27,34	8,59	21,09	10,94	18,40	27,20
Autre	28,07	7,02	19,30	12,28	21,82	14,55
P-value	<0,05	NS	NS	NS	<0,05	<10⁻³
Distance domicile-route						
< 20 m	22,49	8,43	19,68	12,05	22,86	33,47
20 – 50 m	18,18	9,09	14,77	9,09	51,59	27,91
> 50 m	18,75	11,46	11,46	8,33	17,89	22,58
P-value	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Fréquence voiture						
Jamais – rarement	21,31	12,30	18,85	9,84	20,49	33,61
Souvent	22,65	9,09	15,15	11,11	24,35	26,43
Sans arrêt	19,19	8,12	16,24	11,97	16,33	27,55
P-value	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Exposition voitures						
Importante	22,75	8,47	19,05	12,70	24,19	33,51
Faible et modérée	20,07	9,64	14,29	9,64	20,00	25,94
P-value	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Tableau 13 : Facteurs liés aux maladies allergiques

	Sifflement poitrine	Sifflements 12 mois	Sifflement pendant effort	Toux sèche nocturne	Eternuements Nez qui coule Nez bouché
Sexe					
Garçon	35,37	23,89	32,24	52,03	73,47
Fille	25,71	15,42	24,64	46,92	73,58
P-value	<0,05	<0,05	NS	NS	NS
Quartier					
Montravel	16,22	9,72	10,81	56,94	69,01
Valée du tir	18,18	18,18	12,12	54,55	66,67
Logicoop	30,86	16,05	24,69	49,38	77,78
Kamere	28,57	18,97	26,32	57,89	71,93
Faubourg Blanchot	36,41	24,44	35,48	44,44	74,19
P-value	NS	NS	<10⁻²	NS	NS
Résidence					
Né en NC	30,66	19,71	26,96	50,87	73,41
Moins d'un an	22,22	5,56	22,22	50,00	72,22
Plus d'un an	37,50	28,38	40,54	44,59	72,97
P-value	NS	NS	NS	NS	NS
Logement					
Cabane	12,00	3,85	8,33	57,69	56,00
Appartement ou maison	32,19	21,41	30,30	49,39	74,51
P-value	<0,05	<0,05	<0,05	NS	NS
Tabagisme					
Oui	30,46	20,43	28,18	52,70	75,41
Non	32,18	16,49	30,34	37,08	64,04
P-value	NS	NS	NS	<10⁻²	<0,05
Communauté					
Mélanésiens	23,76	15,84	26,26	58,00	76,00
Européens	37,86	29,81	38,83	40,38	69,61
Polynésiens	21,62	10,53	15,79	60,53	81,58
Asiatiques	40,00	30,00	30,00	80,00	80,00
Métis	35,94	22,66	19,37	47,62	72,44
Autre	25,00	10,53	22,81	42,86	72,93
P-value	NS	<0,05	NS	<0,05	NS
Distance domicile-route					
< 20 m	34,27	29,89	30,08	45,75	70,04
20 – 50 m	25,29	17,05	27,27	50,57	84,09
> 50 m	28,42	17,71	27,37	57,29	72,63
P-value	NS	NS	NS	NS	<0,05
Fréquence voiture					
Jamais – rarement	31,15	21,31	33,88	48,76	71,90
Souvent	30,17	24,24	25,65	44,44	56,66
Sans arrêt	31,31	17,52	29,29	52,16	77,49
P-value	NS	NS	NS	NS	NS
Exposition voitures					
Importante	32,98	22,75	28,88	47,87	72,87
Faible et modérée	29,26	17,50	28,41	50,92	73,43
P-value	NS	NS	NS	NS	NS

Tableau 14 : Facteurs liés aux maladies allergiques

Les facteurs liés aux maladies allergiques et aux symptômes respiratoires sont variés.

Les garçons sont d'avantage touchés par l'asthme et par les sifflements que les filles.

Dans le secteur de Montravel, les prévalences de l'asthme (2,7%), du rhume des foins (2,7%) et de l'eczéma (11,1%) sont les plus faibles. Dans le quartier vallée du Tir, seules les prévalences de rhume des foins (12,1%) et d'eczéma (12,1%) sont faibles comparées aux autres quartiers. Les prévalences de ces affections sont maximales dans le quartier Faubourg Blanchot : asthme (25,4%), rhume des foins (27,9%) et eczéma (36,6%).

Les enfants nés en Nouvelle-Calédonie ont significativement moins d'eczéma (26,8%) contre plus de 40% chez ceux nés en dehors.

Les prévalences sont également différentes selon le type de logement, avec significativement moins de rhume des foins et de sifflements chez les enfants vivant dans des cabanes comparés à ceux vivant en appartement ou maison.

Le tabagisme passif est significativement lié à plus d'asthme diagnostiqué par un médecin, plus de toux sèche nocturne et plus de symptômes type éternuements, nez qui coule, nez bouché.

Les enfants polynésiens sont les moins touchés par l'asthme (5,3%), devant les enfants mélanésiens (13,9%). Dans les autres communautés, la prévalence d'asthme déclarée au cours de la vie atteint 20% ou plus. Par contre, les fréquences de rhume des foins et d'eczéma sont les plus faibles chez les enfants mélanésiens (on constate néanmoins une prévalence d'eczéma de 14,5% chez les enfants ayant déclaré « autre communauté »). La prévalence de rhume de foins est la plus forte chez les enfants polynésiens, et celle d'eczéma chez les enfants européens. Les résultats pour les sifflements dans les 12 derniers mois sont similaires à ceux sur l'asthme avec la fréquence la plus faible chez les polynésiens, suivie de celle enregistrée chez les mélanésiens. A noter également la fréquence particulièrement élevée de toux sèche nocturne chez les enfants asiatiques (80%), suivis par les polynésiens (60,5%) et les mélanésiens (58%).

Aucune relation significative n'est observée avec le trafic routier.

3.3 Etude de la relation à court terme entre symptômes et polluants

Les résultats sont présentés pour les relations entre les symptômes et, d'une part les concentrations de polluant le jour même (décalage 0) et d'autres part celles moyennées pour le jour même, la veille et l'avant-veille (moyenne 02).

Ils sont ajustés sur la tendance, le type de jour (jours d'école versus jours de week-end et jours fériés) et les variables météorologiques : température maximale, humidité relative, pression atmosphérique et vitesse du vent.

Polluants	décalage	Irritations nez	Irritations yeux	Toux	Difficultés respiratoires	Fièvre
SO ₂	lag0	1,04 (1,02-1,06)	1,03 (1,01-1,06)	1,03 (1,01-1,05)	1,04 (1,01-1,08)	1,04 (1,00-1,08)
	moy02	1,06 (1,02-1,10)	1,09 (1,04-1,14)	1,09 (1,04-1,13)	1,14 (1,07-1,21)	1,06 (1,00-1,12)
NO ₂	lag0	1,03 (0,99-1,08)	1,03 (0,96-1,11)	1,06 (1,00-1,11)	1,04 (0,97-1,12)	1,04 (0,97-1,12)
	moy02	0,99 (0,91-1,07)	1,01 (0,91-1,13)	1,06 (0,97-1,16)	1,08 (0,96-1,22)	1,02 (0,92-1,14)
PM ₁₀	lag0	1,01 (0,97-1,05)	1,04 (0,98-1,10)	1,02 (0,98-1,06)	1,05 (0,98-1,13)	1,06 (0,99-1,13)
	moy02	0,98 (0,91-1,06)	1,00 (0,90-1,11)	1,04 (0,95-1,13)	1,11 (0,98-1,25)	1,00 (0,90-1,12)

Tableau 15 : Relation entre polluants et symptômes (modèles GEE)

Le tableau présente les odds-ratio avec leurs intervalles de confiance obtenus avec des modèles GEE. Par exemple pour les irritations du nez, l'odds-ratio est de **1,04** [1,02 ; 1,06] : une augmentation de 10µg/m³ de SO₂ entraîne une augmentation de 4 % du risque pour les enfants d'avoir des irritations du nez le même jour. La moyenne de SO₂ sur 3 jours (J0, J-1 et J-2) est également positivement et significativement liée aux symptômes (relation non significative avec la fièvre). Les relations avec les maxima horaires de SO₂ vont dans le même sens qu'avec les moyennes de SO₂, mais sont moins constantes (résultats en annexe 11).

Une relation significative entre le NO₂ le jour même et la toux est par ailleurs observée.

3.4 Analyse de sensibilité : exclusion des jours de pics de SO₂

Pour déterminer si le lien entre les symptômes et la quantité de SO₂ mesurée est principalement dû aux jours de pics de SO₂ relevés dans les stations de Montravel et de la vallée du Tir, les analyses ont été conduites après exclusion des données de SO₂ supérieures à 75µg/m³.

Les résultats obtenus sont globalement similaires à l'analyse précédente. Les deux pics importants de SO₂ relevés dans les stations proches de l'usine de Doniambo ne sont pas l'unique cause des symptômes des enfants.

Polluants	décalage	Irritations nez	Irritations yeux	Toux	Difficultés respiratoires	Fièvre
SO ₂	lag0	1,04 (1,01-1,06)	1,05 (1,02-1,09)	1,04 (1,01-1,06)	1,05 (1,01-1,09)	1,04 (0,99-1,08)
	moy02	1,06 (1,01-1,11)	1,12 (1,06-1,19)	1,11 (1,06-1,16)	1,16 (1,08-1,24)	1,06 (0,98-1,13)

Tableau 16 : Résultats des modèles GEE

3.5 Analyses stratifiées

La relation pollution – symptôme a été testée dans plusieurs sous-groupes d'enfants afin de connaître si des facteurs personnels modifient la sensibilité des enfants à l'exposition de la pollution atmosphérique.

3.5.1 Enfants « asthma-like » (crise d'asthme ou sifflements ou médicaments pour l'asthme) vs. non « asthma-like »

Polluants	décalage	Irritations nez	Irritations yeux	Toux	Difficultés respiratoires	Fièvre
SO ₂	lag0	1,08 (1,03-1,13)	1,05 (1,00-1,11)	1,03 (0,98-1,09)	1,05 (0,99-1,11)	1,04 (0,96-1,12)
	moy02	1,19 (1,09-1,30)	1,07 (0,98-1,16)	1,17 (1,06-1,29)	1,15 (1,03-1,27)	1,05 (0,94-1,16)
NO ₂	lag0	1,08 (0,99-1,17)	1,11 (0,99-1,24)	1,08 (0,98-1,19)	1,07 (0,96-1,19)	1,13 (1,00-1,27)
	moy02	1,30 (1,09-1,56)	1,19 (0,99-1,43)	1,25 (1,05-1,49)	1,24 (1,03-1,49)	1,05 (0,86-1,28)
PM ₁₀	lag0	1,00 (0,93-1,07)	1,10 (1,00-1,22)	1,03 (0,96-1,12)	1,11 (1,01-1,23)	1,10 (0,98-1,24)
	moy02	1,17 (0,98-1,41)	1,09 (0,92-1,28)	1,16 (0,97-1,39)	1,23 (1,03-1,47)	1,01 (0,82-1,23)

Tableau 17 : Enfants « asthma-like »

Polluants	décalage	Irritations nez	Irritations yeux	Toux	Difficultés respiratoires	Fièvre
SO ₂	lag0	1,03 (1,00-1,05)	1,03 (0,99-1,06)	1,03 (1,00-1,05)	1,03 (0,99-1,08)	1,04 (1,00-1,09)
	moy02	1,02 (0,98-1,07)	1,09 (1,03-1,16)	1,06 (1,01-1,11)	1,13 (1,04-1,22)	1,06 (0,98-1,14)
NO ₂	lag0	1,03 (0,98-1,09)	1,00 (0,90-1,10)	1,06 (0,99-1,12)	1,02 (0,91-1,15)	1,01 (0,92-1,11)
	moy02	0,92 (0,84-1,01)	0,95 (0,83-1,10)	1,02 (0,91-1,13)	0,99 (0,83-1,18)	1,04 (0,91-1,17)
PM ₁₀	lag0	1,02 (0,98-1,06)	1,01 (0,94-1,08)	1,02 (0,98-1,07)	1,00 (0,90-1,12)	1,05 (0,97-1,13)
	moy02	0,95 (0,87-1,03)	0,97 (0,84-1,13)	1,02 (0,92-1,13)	1,05 (0,88-1,25)	1,03 (0,90-1,18)

Tableau 18 : Enfants non « asthma-like »

Si l'effet délétère du SO₂ est retrouvé chez tous les enfants, celui du NO₂ sur les irritations du nez, la toux, les difficultés respiratoires et la fièvre, et celui des PM₁₀ sur les difficultés respiratoires n'est perceptible que chez les enfants les plus sensibles.

3.5.2 Enfants avec rhume des foins et sans rhume des foins

Polluants	décalage	Irritations nez	Irritations yeux	Toux	Difficultés respiratoires	Fièvre
SO ₂	lag0	1,05 (1,01-1,10)	1,04 (0,98-1,11)	1,05 (1,01-1,10)	1,02 (0,94-1,10)	1,07 (1,00-1,14)
	moy02	1,08 (0,99-1,17)	1,16 (1,05-1,28)	1,12 (1,03-1,23)	1,09 (0,97-1,23)	1,19 (1,07-1,32)
NO ₂	lag0	1,04 (0,95-1,14)	1,05 (0,92-1,20)	1,17 (1,07-1,28)	1,04 (0,92-1,19)	1,18 (1,06-1,33)
	moy02	1,10 (0,94-1,28)	1,21 (1,00-1,45)	1,17 (0,97-1,40)	1,08 (0,90-1,30)	1,37 (1,14-1,64)
PM ₁₀	lag0	1,02 (0,95-1,09)	1,03 (0,93-1,15)	1,08 (1,00-1,17)	1,08 (0,95-1,22)	1,08 (0,98-1,19)
	moy02	1,07 (0,90-1,28)	1,16 (0,96-1,39)	1,19 (1,01-1,41)	1,09 (0,90-1,32)	1,19 (0,97-1,46)

Tableau 19 : Enfants souffrant de rhume des foins

Polluants	décalage	Irritations nez	Irritations yeux	Toux	Difficultés respiratoires	Fièvre
SO ₂	lag0	1,03 (1,01-1,06)	1,02 (0,99-1,05)	0,12 (0,99-1,04)	1,05 (1,01-1,09)	1,03 (0,99-1,08)
	moy02	1,06 (1,02-1,11)	1,06 (1,00-1,12)	1,08 (1,03-1,13)	1,14 (1,06-1,23)	1,00 (0,93-1,08)
NO ₂	lag0	1,04 (0,98-1,09)	1,02 (0,93-1,11)	1,03 (0,97-1,09)	1,05 (0,95-1,15)	0,99 (0,90-1,09)
	moy02	0,98 (0,89-1,07)	0,96 (0,83-1,10)	1,04 (0,93-1,16)	1,10 (0,93-1,39)	0,90 (0,79-1,03)
PM ₁₀	lag0	1,01 (0,96-1,05)	1,03 (0,96-1,11)	1,01 (0,96-1,06)	1,05 (0,96-1,15)	1,07 (0,99-1,17)
	moy02	0,98 (0,90-1,08)	0,95 (0,83-1,09)	1,01 (0,91-1,12)	1,14 (0,96-1,34)	0,95 (0,82-1,10)

Tableau 20 : Enfants sans rhume des foins

Comme précédemment, les effets nocifs du NO₂ et des PM₁₀ ne sont mis en évidence que chez les enfants les plus sensibles, ici ceux atteints de rhume des foins.

4 Discussion

Ce travail sur la relation à court terme entre les mesures de pollution et les symptômes chez les enfants scolarisés de Nouméa révèle que le dioxyde de soufre (SO₂) est le polluant le plus lié aux symptômes étudiés (fièvre, irritation du nez, irritation des yeux, toux et difficultés respiratoires) chez l'ensemble des enfants. L'effet est immédiat, mais peut se prolonger sur quelques jours. Les effets délétères du dioxyde d'azote (NO₂) et des particules (PM₁₀) sont plus marqués chez les enfants les plus sensibles, souffrant d'asthme ou de rhume des foins. Seule la toux est liée aux concentrations de NO₂ chez l'ensemble des enfants. Chez les enfants asthmatiques, les trois polluants étudiés sont en premier lieu liés à des difficultés respiratoires, tandis que chez les enfants atteints de rhume des foins les trois polluants sont d'abord liés à la toux.

Cette étude renseigne par ailleurs les prévalences d'asthme et de maladies allergiques chez les enfants de 10 ans vivant à Nouméa. Il s'avère qu'elles sont particulièrement élevées, en comparaison avec les chiffres de l'enquête ISAAC de Nouvelle-Calédonie. Notons cependant que celle-ci datant de 1998 avait été réalisée sur l'ensemble de la Nouvelle-Calédonie chez des enfants de 13-14 ans. La proportion d'enfants atteints d'asthme au cours de la vie est ici de 21,2% versus 12,4% en 1998, celle de rhume des foins de 21,7% versus 10% et celle d'eczéma de 29,1% versus 12,4%. On observe aussi dans cette enquête que ces prévalences diffèrent entre les communautés d'appartenance, avec des prévalences plus faibles chez les mélanésiens, cela était un peu moins marqué en 1998, mais à cette époque la communauté « métis » n'avait pas été proposée.

Les niveaux de pollution diffèrent fortement entre quartiers. Durant la période d'étude, les quartiers au nord de Doniambo, Kaméré et Logicoop sont les moins pollués, en ce qui concernent les moyennes et les maximales de SO₂, PM₁₀ et NO₂. Si la moyenne de SO₂ la plus élevée est observée dans le quartier Faubourg Blanchot, devant Montravel et vallée du Tir, les maximales de ce polluant sont observées dans ces deux derniers quartiers. Les concentrations moyennes de PM₁₀ et de NO₂ sont plus élevées à Montravel, qu'à Faubourg Blanchot. Ce constat d'hétérogénéité diffère des moyennes annuelles observées au cours des années précédentes (rapports Scal-Air), où les moyennes annuelles de SO₂ ont tendance à être plus élevées à Logicoop, qu'à Montravel et à Faubourg Blanchot. Rappelons que la période d'étude choisie est celle durant laquelle les vents sont faibles, ce qui favorise l'accumulation des polluants sur la ville. On note en effet que les concentrations moyennes des polluants durant la période d'étude ont tendance à être plus élevées que les moyennes annuelles.

L'analyse de sensibilité qui a consisté à soustraire les deux pics les plus importants (un à Montravel, un dans la vallée du Tir) révèle que la relation entre les concentrations de SO₂ et les symptômes n'est pas liée uniquement à ces deux pics très importants (respectivement 90 et 92 µg/m³ en moyenne journalière). Les variations d'un jour à l'autre des polluants, même à des niveaux moins importants, sont liées à la survenue de symptômes.

Les études de panel sont une méthode pertinente pour étudier les relations à court terme entre les niveaux de polluants et des effets sur la santé. Le nombre important d'enfants participants assure une bonne puissance statistique à l'étude, même si celle-ci est plus limitée dans certaines analyses stratifiées, c'est-à-dire dans des sous-groupes d'enfants notamment pour les polluants (PM₁₀ et NO₂)

qui ne sont pas mesurés dans toutes les écoles. Certaines limites de l'étude peuvent en revanche être évoquées. En premier lieu, l'estimation globale de l'exposition des enfants est faite à partir des stations de mesure. Celles-ci sont dans les écoles ou à proximité immédiate de celles-ci, ce qui est un facteur positif. S'il est probable que la majorité des enfants réside à proximité de son école, il reste possible que certains d'entre eux vivent dans un autre quartier, ce qui fait qu'en dehors des heures de classe, ils sont soumis à d'autres niveaux que ceux enregistrés près de leur école. Néanmoins, de nombreuses publications ont montré que les variations temporelles des concentrations en polluants mesurées au niveau des stations de mesure demeurent pertinentes pour décrire l'exposition au lieu de résidence, même si le niveau dans un lieu donné est mal estimé. Une autre limite vient du fait que les maladies dont sont atteints les enfants et les symptômes dont ils souffrent au cours de l'étude sont sur un mode déclaratif. Pour des raisons de faisabilité aucun examen clinique n'a été réalisé, et aucun paramètre objectif n'a été enregistré au cours de l'étude. Néanmoins, leurs réponses n'ont pas été influencées par la connaissance des enfants des variations temporelles des niveaux de polluants.

Cette étude confirme que les niveaux de pollution observés pendant la période d'étude provoquent des symptômes chez les enfants scolarisés de Nouméa. Le SO₂ apparaît être le polluant le plus irritant, entraînant des symptômes touchant les yeux, les sphères ORL et respiratoire chez tous les enfants. Les enfants asthmatiques et allergiques, dont le nombre a augmenté ces 15 dernières années, apparaissent les plus susceptibles aux effets des deux autres polluants étudiés, le NO₂ et les PM₁₀.

5 Annexes

Annexe 1 : Fiche technique enseignant.....	29
Annexe 2 : Questionnaire d'inclusion.....	30
Annexe 3 : Carnet journalier	35
Annexe 4 : Qualité de remplissage des questionnaires journaliers.....	38
Annexe 5 : Evolution des facteurs météorologiques pendant l'étude	39
Annexe 6 : Evolution des polluants pendant l'étude par station	40
Annexe 7 : Corrélation entre les différents polluants par station.....	46

Annexe 1 : Fiche technique enseignant

FICHE TECHNIQUE ENSEIGNANT – SEMAINIER et QUESTIONNAIRE GENERAL

Pré-requis : chaque enfant aura un numéro d'étude qui lui sera attribué personnellement et qui sera reporté sur tous les questionnaires. La liste de correspondance entre les numéros d'étude et le nom de l'enfant sera détenue par le directeur ou la directrice de l'école. En aucun cas, des données nominatives seront transmises à la DASS.

A- SEMAINIER ANONYME

- 1- Préparation des enfants : explication sur l'air, sa composition, la pollution, les relations entre la qualité de l'air et la santé, présentation de l'étude, du semainier et du questionnaire d'inclusion aux enfants après la réunion d'information et de formation de la DASS avec SCALAIR
- 2- Distribution de la lettre aux parents (semaines 26-27)
- 3- Récupération de l'autorisation des parents à partir du 2 juillet (semaine 27)
- 4- Explications sur le remplissage du semainier avec test en classe au cours de la semaine 28
- 5- Début de l'étude semaine 30 : distribution le lundi 23/07 du cahier avec les semainiers, nouvelles explications sur le remplissage
- 6- Semaine 30 : vérification tous les matins du remplissage des fiches, sensibilisation pour bien remplir la fiche le WE
- 7- Semaine 31 :
 - a. vérification du remplissage du WE le lundi matin 30/07,
 - b. ramassage des fiches de la semaine 30 le mardi matin 31/07
 - c. transmission des fiches au directeur ou à la directrice
 - d. ramassage des fiches de la semaine 30 par la DASS
- 8- Semaines 32, 33, 34, 35, même procédure
- 9- Semaine 36 : récupération de la fiche de la semaine 35

B-QUESTIONNAIRE GENERAL ANONYME

Ce questionnaire peut être passé aux élèves au moment de votre choix au cours la période de l'étude

- 1- Explication du mode de remplissage : cases à cocher, questions où il faut écrire la réponse en entier
- 2- Remplissage de la 1^{ère} partie : date, école, numéro d'étude, sexe, âge
- 3- Puis remplissage de la 2^{ème} partie, après lecture après explication de chacune des questions par l'enseignant
- 4- Une fois complété, chaque questionnaire sera placé dans une enveloppe qui comportera le numéro de l'enfant, qui sera ensuite fermée et transmise à l'enseignant.
- 5- Les enveloppes seront transmises à la direction puis à la DASS

**ETUDE SUR LA SANTE DES ECOLIERS EN RELATION AVEC LA
QUALITE DE L'AIR A NOUMEA**

QUESTIONNAIRE GENERAL ANONYME

Ecole : _____

Numéro d'étude : _____

Classe : _____

Date du jour où tu remplis le questionnaire : ____ / ____ / ____

TOI

1. Tu as ____ ans et ____ mois

2. Tu es 1 un garçon

2 une fille

TON ENVIRONNEMENT FAMILIAL

3. Tes parents ou beaux-parents (si tu vis avec eux) exercent la profession suivante (actuelle ou dernière) :

Père : _____

Mère : _____

Beau-père : _____

Belle-mère : _____

4. Actuellement, tes parents ou beaux-parents (si tu vis avec eux),

	Père	Mère
Travaillent	1 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/>
Sont au chômage	2 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
Autre _____	3 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>

	Beau-père	Belle-mère
Travaillent	1 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/>
Sont au chômage	2 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
Autre _____	3 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>

5. Depuis combien de temps résides-tu en Nouvelle-Calédonie ? (coche une seule case)

1 Je suis né(e) en Nouvelle-Calédonie	<input type="checkbox"/>
2 Je réside en Nouvelle-Calédonie depuis moins d'un an	<input type="checkbox"/>
3 Je réside en Nouvelle-Calédonie depuis _____ années	<input type="checkbox"/>

6. A quelle communauté appartiens-tu ? (coche une seule case)

1 Mélanésienne	<input type="checkbox"/>
2 Européenne	<input type="checkbox"/>
3 Polynésienne	<input type="checkbox"/>
4 Asiatique	<input type="checkbox"/>
5 Métis	<input type="checkbox"/>
6 Autre	<input type="checkbox"/>

TON ENVIRONNEMENT A LA MAISON

7. Dans quel type de logement vis-tu le plus souvent ? (coche une seule case)

1 Cabane (tôle ou bois)	<input type="checkbox"/>
2 Appartement	<input type="checkbox"/>
4 Maison, villa, bâtiment en « dur »	<input type="checkbox"/>
5 Autre type d'habitat _____	<input type="checkbox"/>

8. A quelle distance minimale de ton domicile se trouve la route ? (coche une seule case)

1 moins de 20 m	<input type="checkbox"/>
2 de 20 à 50 m	<input type="checkbox"/>
3 de 50 à 100 m	<input type="checkbox"/>
4 de 100 à 200 m	<input type="checkbox"/>
5 plus de 200 m	<input type="checkbox"/>

9. A quelle fréquence y a-t-il des voitures qui passent devant ton habitation ? (coche une seule case)

- | | | |
|---|------------|--------------------------|
| 1 | sans arrêt | <input type="checkbox"/> |
| 2 | souvent | <input type="checkbox"/> |
| 3 | rarement | <input type="checkbox"/> |
| 4 | jamais | <input type="checkbox"/> |

10. A quelle fréquence y a-t-il des poids lourds (camion, bus) qui passent devant ton habitation ? (coche une seule case)

- | | | |
|---|------------|--------------------------|
| 1 | sans arrêt | <input type="checkbox"/> |
| 2 | souvent | <input type="checkbox"/> |
| 3 | rarement | <input type="checkbox"/> |
| 4 | jamais | <input type="checkbox"/> |

11. Tes parents ou beaux-parents (si tu vis avec eux) fument-ils actuellement ? (coche une seule case pour chaque personne)

- | Père | Mère | Beau-père | Belle-mère |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| 1 Oui <input type="checkbox"/> | 1 <input type="checkbox"/> Oui | 1 <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> |
| 0 Non <input type="checkbox"/> | 0 <input type="checkbox"/> Non | 0 <input type="checkbox"/> Non | <input type="checkbox"/> |
| | | | 1 Oui |
| | | | 0 Non |

12. Y a-t-il d'autres fumeurs dans ta famille qui vivent avec toi ? (plusieurs réponses possibles)

- | | | |
|---|----------------------|--------------------------|
| 1 | frère(s) et sœur(s) | <input type="checkbox"/> |
| 2 | autre(s) personne(s) | <input type="checkbox"/> |

TA SANTE

13. As-tu DEJA eu des sifflements dans la poitrine à un moment quelconque de ta vie ?

- | | | | |
|-------|--------------------------|---|------------------------------|
| 1 Oui | <input type="checkbox"/> | 0 | <input type="checkbox"/> Non |
|-------|--------------------------|---|------------------------------|

Si la réponse est NON, passe directement à la question 15

14. As-tu eu des sifflements dans la poitrine à un moment quelconque durant les 12 derniers mois ?

- | | | | |
|-------|--------------------------|---|------------------------------|
| 1 Oui | <input type="checkbox"/> | 0 | <input type="checkbox"/> Non |
|-------|--------------------------|---|------------------------------|

15. As-tu DEJA eu des crises d'asthme ?

1 Oui 0 Non

16. Durant les 12 derniers mois, as-tu entendu des sifflements dans ta poitrine pendant ou après un effort ?

1 Oui 0 Non

17. Durant les 12 derniers mois, as-tu eu de la toux sèche la nuit alors que tu n'avais ni rhume, ni infection respiratoire ?

1 Oui 0 Non

18. As-tu DEJA eu des éternuements, le nez qui coule ou le nez bouché alors que tu n'avais ni rhume, ni grippe ?

1 Oui 0 Non

19. As-tu DEJA eu le rhume des foins (ou pollinose ou rhinite allergique) ?

1 Oui 0 Non

20. As-tu DEJA eu de l'eczéma ?

1 Oui 0 Non

Si tu as DEJA eu des crises d'asthme (OUI à la question 15), réponds aux questions suivantes :

21. L'asthme a-t-il été confirmé par un médecin ?

1 Oui 0 Non

22. A quel âge as-tu eu ta première crise d'asthme ?

_____ ans

23. As-tu eu une crise d'asthme durant les 12 derniers mois ?

1 Oui 0 Non

24. Prends-tu actuellement des médicaments contre l'asthme ? (comprimés, produits à inhaler, aérosols...)

1 Oui 0 Non

Si oui, lesquels :

ETUDE SUR LA SANTE DES ECOLIERS EN RELATION
AVEC LA QUALITE DE L'AIR A NOUMEA

CAHIER D'ETUDE



Nous te remercions d'avoir accepté de participer à
cette étude.

Lis bien les instructions au verso pour remplir ta
fiche hebdomadaire.

Pour éviter les erreurs liées à un oubli, nous te
demandons de remplir ta fiche chaque soir.

COMMENT REpondre AUX DIFFERENTES QUESTIONS ?

Questions 1 à 5 :

Chaque soir et pour chaque symptôme, coche la case « pas du tout » ou « un peu » ou « beaucoup » pour la nuit précédente et la journée écoulée.

Question 6 :

Inscris le nom du (des) médicament(s) que tu prends et coche chaque jour la case correspondante.

Ecole _____

Numéro _____

Semaine 1 du 23 / 07 / 2012 au 29 / 07 / 2012

Séjour hors de ton quartier ___ / ___ / 2012 au ___ / ___ / 2012

	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
--	-------	-------	----------	-------	----------	--------	----------

1. FIEVRE

Pas du tout							
Un peu							
Beaucoup							

2. NEZ IRRITE : éternuement, nez qui coule, nez bouché.
Coche la case qui correspond le mieux à l'état des symptômes ressentis.

Pas du tout							
Un peu							
Beaucoup							

3. YEUX IRRITES : sensation de présence de « poussières », rougeur, larmoiement.
Coche la case qui correspond le mieux à l'état des symptômes ressentis.

Pas du tout							
Un peu							
Beaucoup							

4. TOUX
Coche la case qui correspond le mieux à l'état des symptômes ressentis.

Pas du tout							
Un peu							
Beaucoup							

5. RESPIRATION : Respiration sifflante, souffle court, crise d'asthme
Coche la case qui correspond le mieux à l'état des symptômes ressentis.

Pas du tout							
Un peu							
Beaucoup							

6. Médicaments pris ce jour :
Coche la case du ou des jours où tu as pris des médicaments et indique lesquels.

.....							
.....							
.....							

Annexe 4 : Qualité de remplissage des questionnaires journaliers

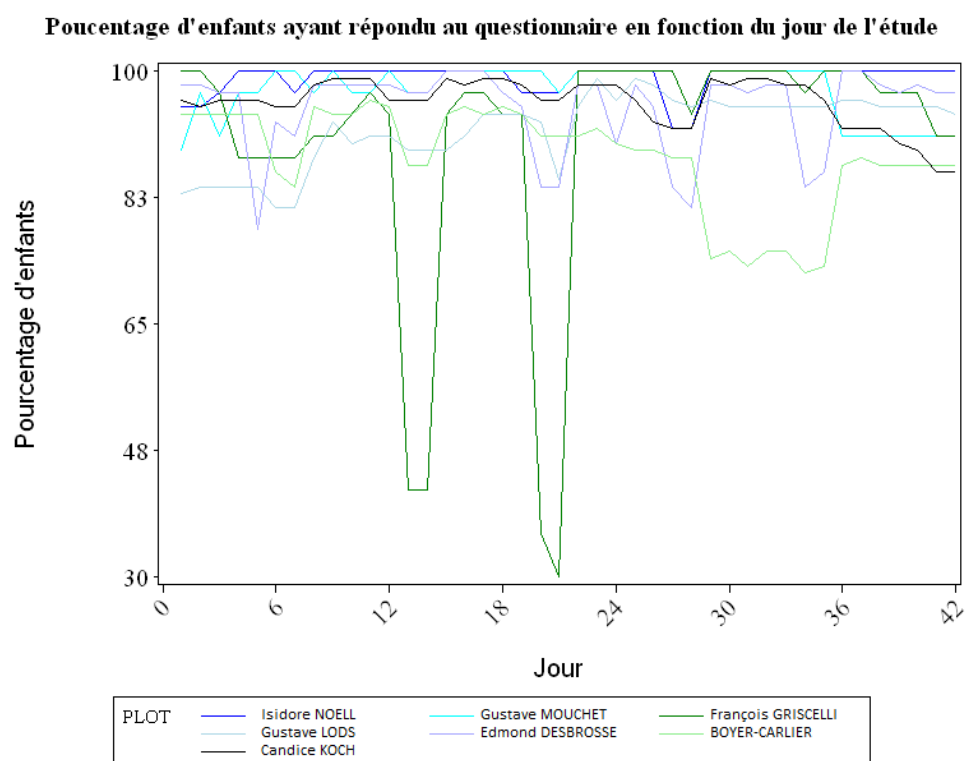


Figure 7 : Pourcentage d'enfants ayant répondu au questionnaire en fonction du jour de l'étude

Le graphique ci-dessus représente la proportion d'enfants ayant répondu aux questionnaires journaliers dans chaque école en fonction du jour de l'étude. Dans l'ensemble, le taux de réponse est compris entre 83 et 100 % pour l'ensemble des écoles. En revanche, nous observons une chute de participation dans l'école François GRISCELLI durant les weekends des deuxième et troisième semaines. Enfin, dans l'école BOYER-CARLIER de Faubourg Blanchot, le taux de participation est plus faible lors de la semaine du 20 au 26 août 2012 avec environ 75 % de réponses.

Ecoles	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
Isidore NOELL	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98
Gustave MOUCHET	0,96	0,98	0,97	0,98	0,98	0,98	0,97
François GRISCELLI	0,97	0,98	0,97	0,96	0,95	0,76	0,74
Gustave LOUDES	0,91	0,93	0,92	0,93	0,93	0,92	0,90
Edmond DESBROSSE	0,99	0,99	0,97	0,97	0,94	0,90	0,89
BOYER-CARLIER	0,89	0,90	0,89	0,89	0,89	0,85	0,85
Candice KOCH	0,97	0,96	0,97	0,97	0,95	0,94	0,94

Tableau 21 : Proportion d'enfants ayant répondu au questionnaire en fonction du jour de la semaine

Dans l'ensemble des écoles, le taux de réponse ne varie pas selon le jour de la semaine excepté pour l'école François GRISCELLI où l'on observe une baisse de participation les samedi et dimanche.

Annexe 5 : Evolution des facteurs météorologiques pendant l'étude

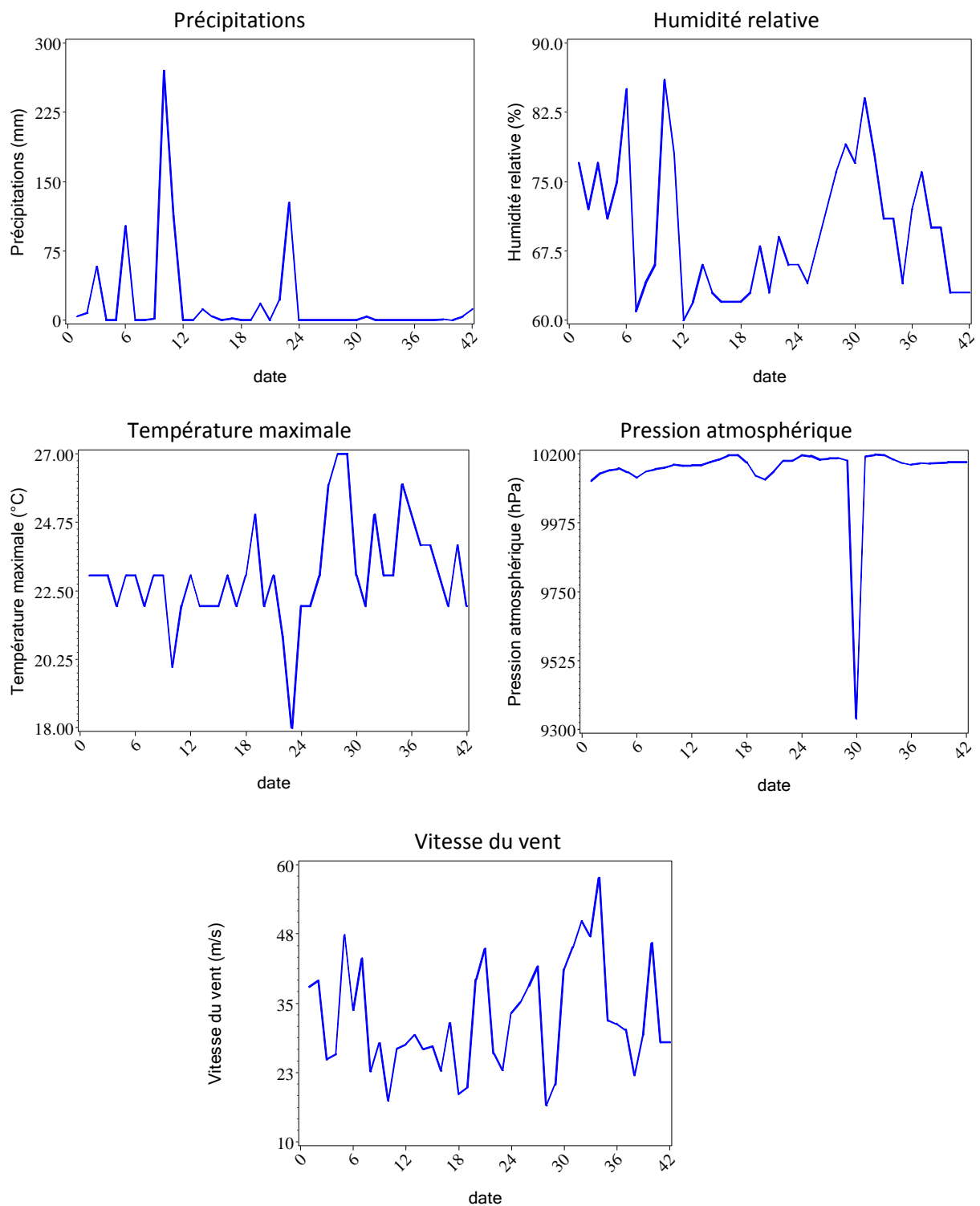


Figure 8 : Evolution des facteurs météorologiques

Annexe 6 : Evolution des polluants pendant l'étude par station

➤ Evolution des concentrations moyennes de SO₂ dans les différentes stations

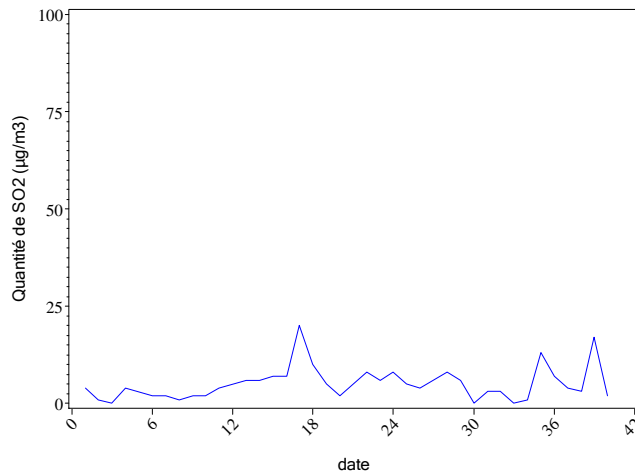


Figure 9 : Evolution de la concentration moyenne de SO₂ mesurée à Kaméré (Desbrosse)

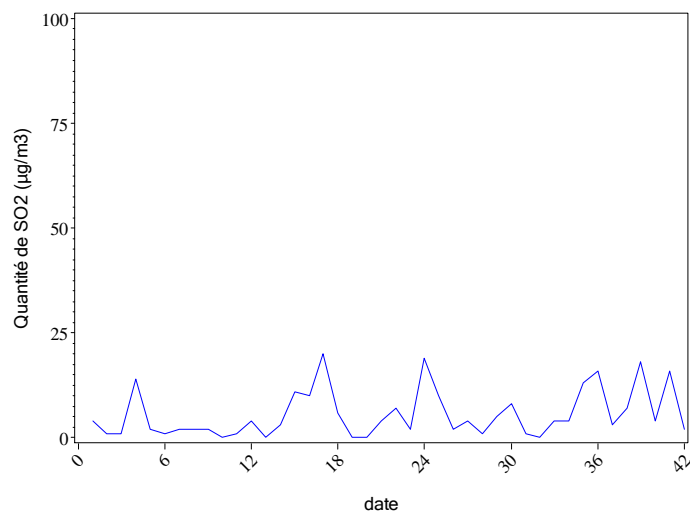


Figure 10 : Evolution de la concentration moyenne de SO₂ mesurée à Logicoop

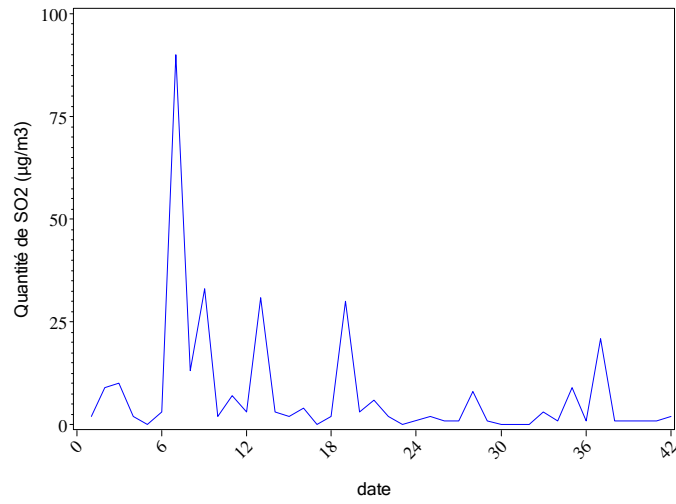


Figure 11 : Evolution de la concentration moyenne de SO₂ mesurée dans la station de Montravel

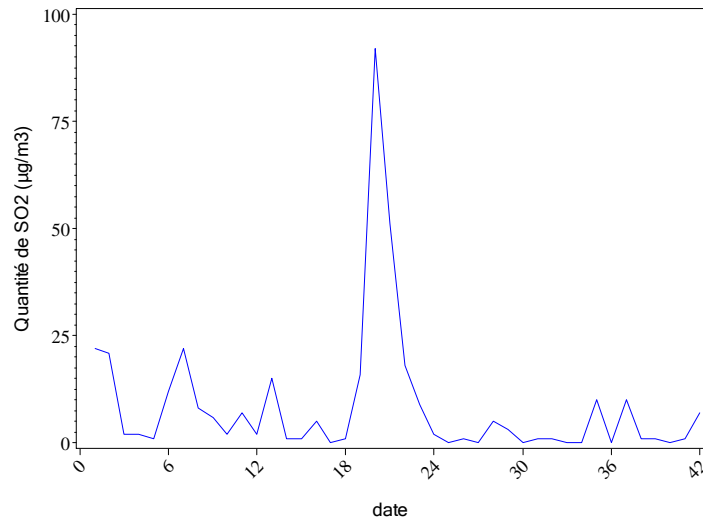


Figure 12 : Evolution de la concentration moyenne de SO₂ mesurée dans la vallée du Tir (Griselli)

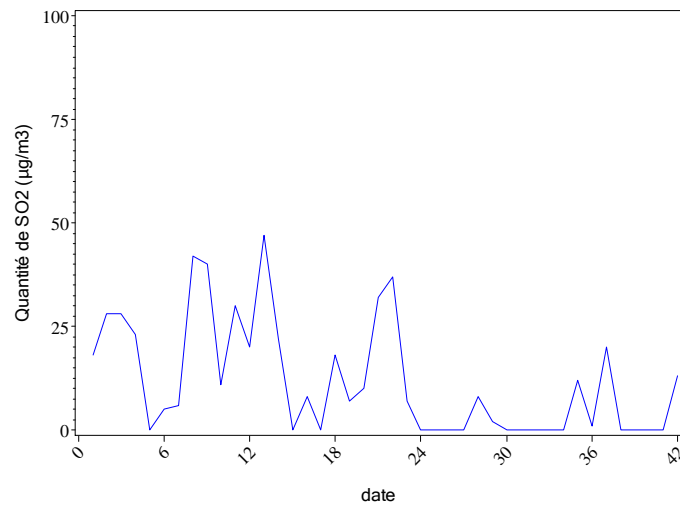


Figure 13 : Evolution de la concentration moyenne de SO₂ mesurée à Faubourg Blanchot

➤ *Evolution des concentrations maximales horaires de SO₂ dans les différentes stations*

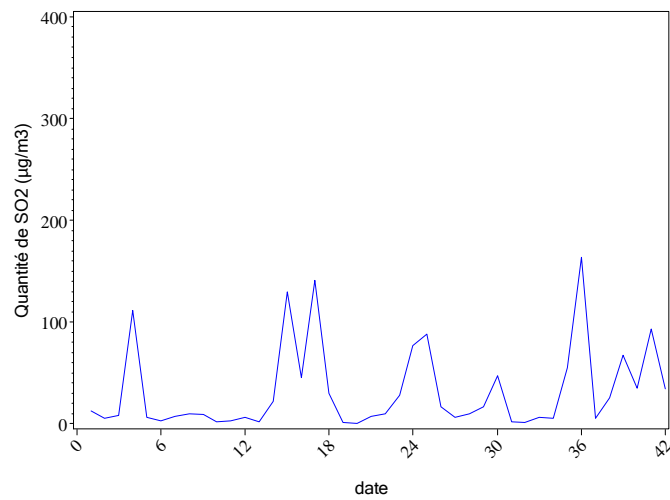


Figure 14 : Evolution de la concentration maximale de SO₂ mesurée à Logicoop

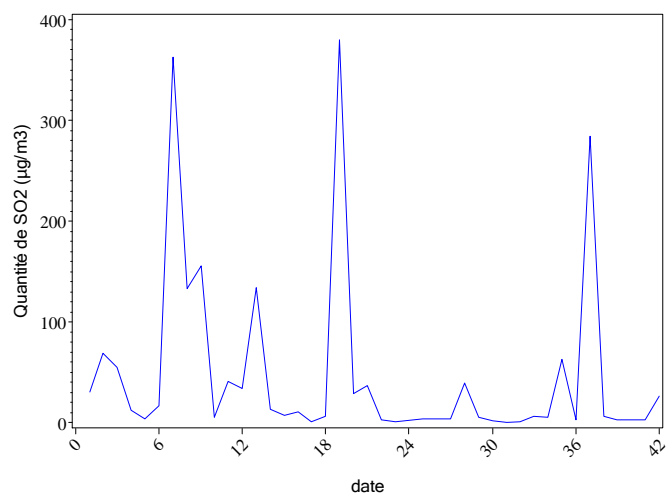


Figure 15 : Evolution de la concentration maximale de SO₂ mesurée à Montravel

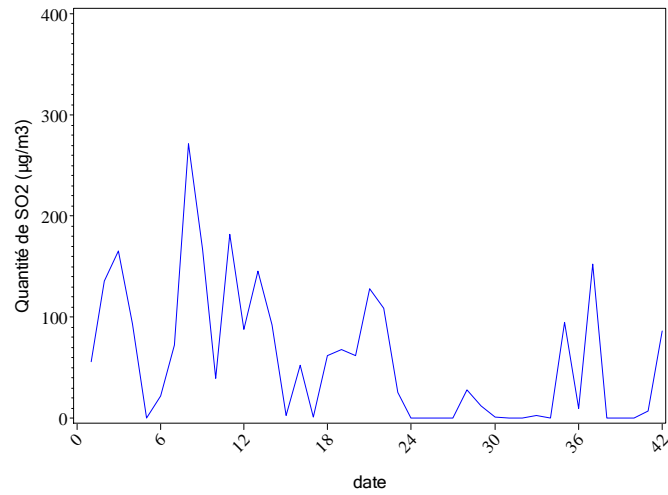


Figure 16 : Evolution de la concentration maximale de SO₂ mesurée à Faubourg Blanchot

➤ **Evolution des concentrations moyennes de NO₂ dans les différentes stations**

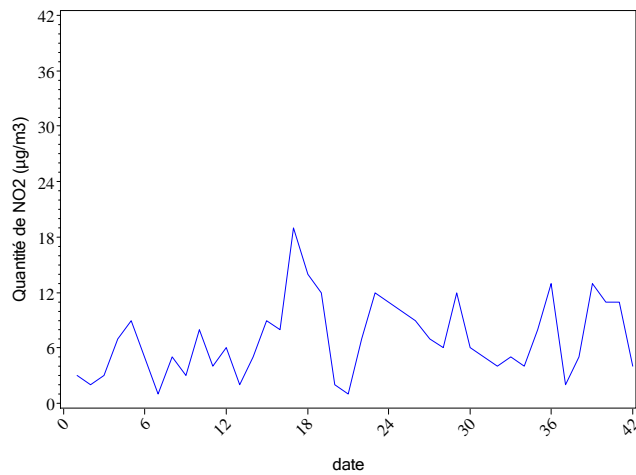


Figure 17 : Evolution de la concentration moyenne de NO₂ mesurée à Logicoop

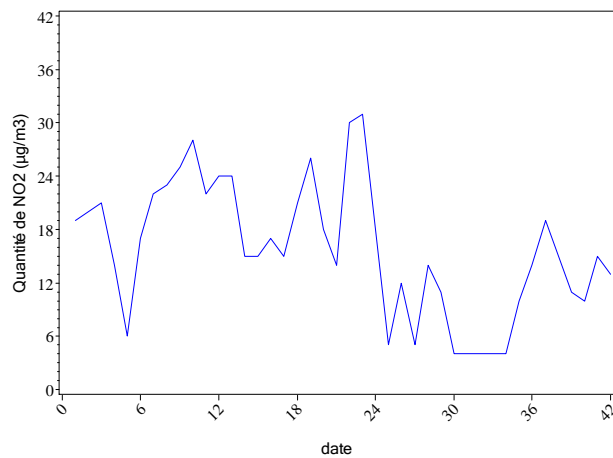


Figure 18 : Evolution de la concentration moyenne de NO₂ mesurée à Montravel

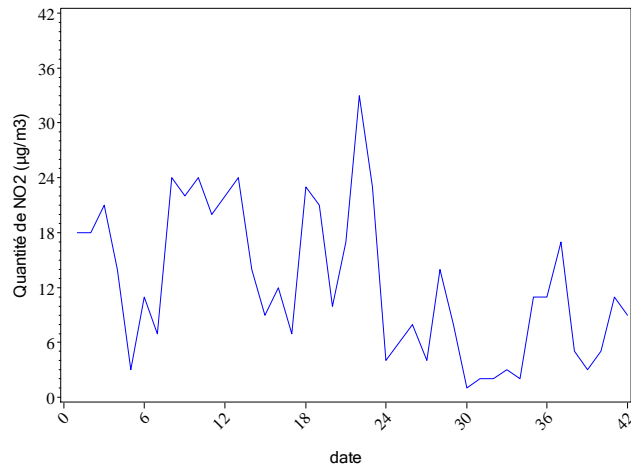


Figure 19 : Evolution de la concentration moyenne de NO₂ mesurée à Faubourg Blanchot

➤ *Evolution des concentrations moyennes de PM₁₀ dans les différentes stations*

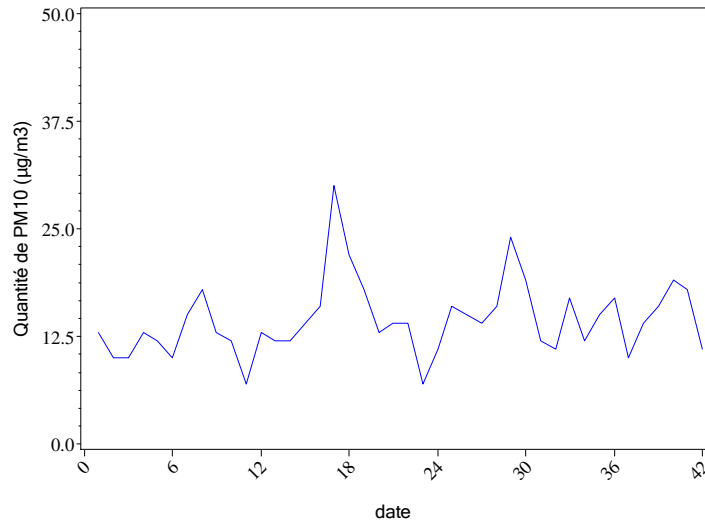


Figure 20 : Evolution de la concentration moyenne de PM₁₀ mesurée à Logicoop

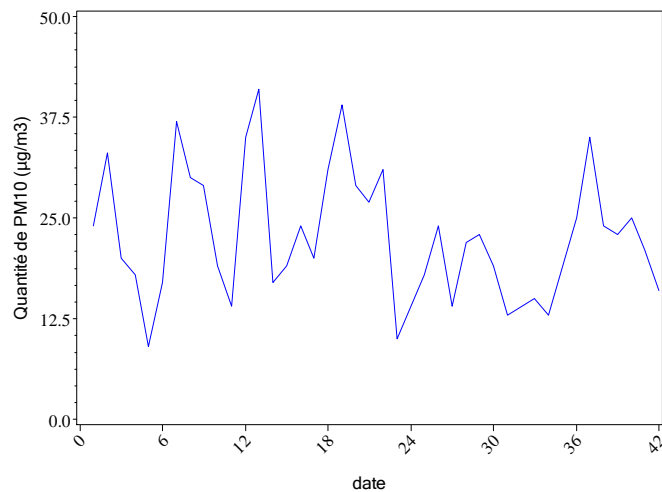


Figure 21 : Evolution de la concentration moyenne de PM₁₀ mesurée à Montravel

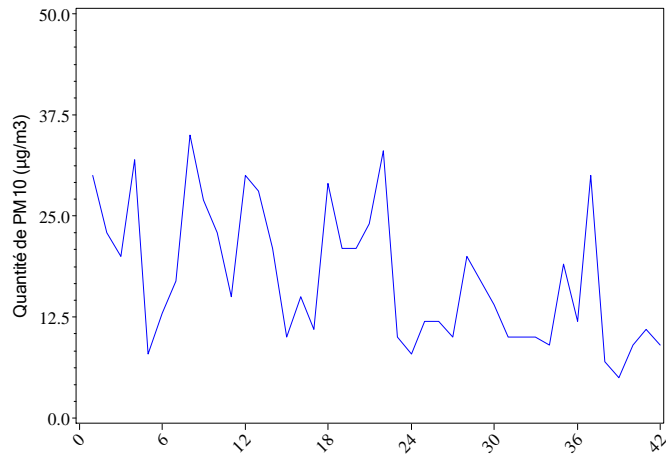


Figure 22 : Evolution de la concentration moyenne de PM₁₀ mesurée à Faubourg Blanchot

➤ Evolution des concentrations maximales sur 8 heures d'O₃ dans les différentes stations

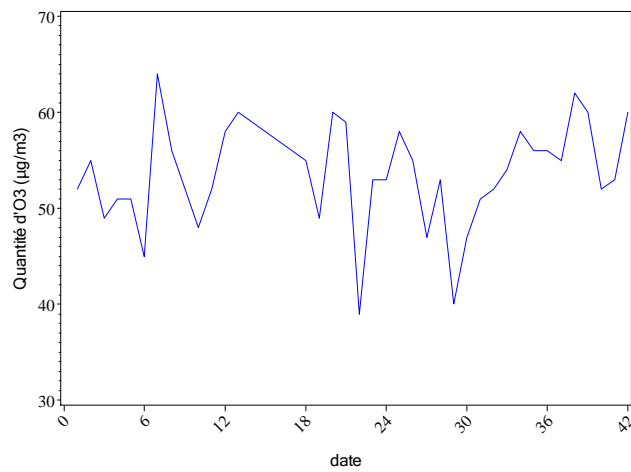


Figure 23 : Evolution de la concentration maximale d'O₃ mesurée à Faubourg Blanchot

Annexe 7 : Corrélation entre les différents polluants par station

1. Station de Logicoop

Corrélation entre les quantités de polluants mesurées dans la station de Logicoop				
	SO ₂	NO ₂	PM ₁₀	SO ₂ max hor
SO ₂	1.00000			
NO ₂	0.54229 0.0002	1.00000		
PM ₁₀	0.49740 0.0008	0.53347 0.0003	1.00000	
Maximum SO ₂	0.85229 <.0001	0.59208 <.0001	0.47128 0.0016	1.00000

Tableau 22: Corrélations entre les mesures de pollution à la station de Logicoop

2. Station de Montravel

Corrélation entre les quantités de polluants mesurées dans la station de Montravel				
	SO ₂	NO ₂	PM ₁₀	Maximum SO ₂
SO ₂	1.00000			
NO ₂	0.54542 0.0002	1.00000		
PM ₁₀	0.55965 0.0001	0.55534 0.0002	1.00000	
Maximum SO ₂	0.93728 <.0001	0.49746 0.0009	0.51553 0.0006	1.00000

Tableau 23 : Corrélations entre les mesures de pollution à la station de Montravel

Les quantités moyennes de SO₂, NO₂, PM₁₀ et les quantités maximales de SO₂ mesurées dans les stations de Logicoop et de Montravel sont corrélées positivement entre elles.

3. Station de Faubourg Blanchot

Corrélation entre les quantités de polluants mesurées dans la station de Faubourg Blanchot						
	SO ₂	NO ₂	PM ₁₀	O ₃	Maximum SO ₂	Maximum O ₃
SO ₂	1.00000					
NO ₂	0.85462 <.0001	1.00000				
PM ₁₀	0.83320 <.0001	0.78710 <.0001	1.00000			
O ₃	-0.67600 <.0001	-0.79193 <.0001	-0.70083 <.0001	1.00000		
SO ₂ max-horaire	0.95202 <.0001	0.80775 <.0001	0.80237 <.0001	-0.64186 <.0001	1.00000	
O ₃ max 8 heures	0.03881 0.8072	-0.06524 0.6814	-0.10579 0.5049	0.45737 0.0023	0.06050 0.7035	1.00000

Tableau 24 : Corrélations entre les mesures de pollution à la station de Faubourg Blanchot

Dans la station de Faubourg Blanchot, les quantités moyennes de SO₂, NO₂, PM₁₀ et les quantités maximales de SO₂ sont corrélées positivement entre elles. En revanche, les quantités moyennes et maximales d'O₃ sont corrélées négativement avec les autres mesures de pollution.