



**HAL**  
open science

## Qualité de l'air à Nouméa et santé respiratoire des écoliers Une étude de panel

Denis Bard, Sylvie Laumond, Eric Le Plomb, L. Hattermann, Claire Segala,  
Emmanuel Rivière

► **To cite this version:**

Denis Bard, Sylvie Laumond, Eric Le Plomb, L. Hattermann, Claire Segala, et al.. Qualité de l'air à Nouméa et santé respiratoire des écoliers Une étude de panel. Environnement, Risques & Santé, 2017, 16 (5), pp.462-471. hal-03715572

**HAL Id: hal-03715572**

**<https://ehesp.hal.science/hal-03715572>**

Submitted on 28 Nov 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Qualité de l'air à Nouméa et santé respiratoire des écoliers

## Une étude de panel

DENIS BARD<sup>1</sup>  
 SYLVIE LAUMOND<sup>2</sup>  
 ERIC LE PLOMB<sup>3</sup>  
 LOÏC HATTERMANN<sup>2</sup>  
 CLAIRE SEGALA<sup>4</sup>  
 EMMANUEL RIVIÈRE<sup>5</sup>

<sup>1</sup> École des hautes études  
 en santé publique  
 Avenue du Pr. Léon  
 Bernard  
 35043 Rennes  
 France  
 <denis.bard@ehesp.fr>

<sup>2</sup> DASS Nouvelle-  
 Calédonie  
 5, rue Gallieni BP n°4  
 98851 Nouméa  
 Nouvelle-Calédonie  
 <sylvie.laumont-barny@  
 gouv.nc>  
 <loichattermann@hotmail.fr>

<sup>3</sup> Scal'Air  
 12 bis, rue Léonard de  
 Vinci  
 98800 Nouméa  
 Nouvelle-Calédonie  
 <eleplomb@gmail.com>

<sup>4</sup> SEPIA Santé  
 Zone de Kermarec, route  
 de Pontivy  
 56150 Baud  
 France  
 <csegala\_sepia@orange.fr>

<sup>5</sup> ASPA  
 5, rue de Madrid  
 67300 Schiltigheim  
 France  
 <eriviere@atmo-alsace.net>

**Tirés à part :**  
 D. Bard

Article reçu le 16 novembre  
 2016, accepté le 20 janvier  
 2017

**Résumé.** La qualité de l'air à Nouméa (Nouvelle-Calédonie) est une préoccupation publique, en rapport notamment avec la présence d'une zone industrielle située en pleine ville, émettrice de dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) de manière intermittente et d'autres polluants de l'air. La littérature sur les effets de ce gaz sur la santé respiratoire des enfants est ancienne et porte essentiellement sur les enfants asthmatiques, fortement exposés au SO<sub>2</sub>. Nous avons conduit une étude de panel de six semaines (juillet à septembre 2012) sur 469 écoliers de 8 à 12 ans, fréquentant sept écoles primaires volontaires situées à proximité de stations de mesure de SO<sub>2</sub>, de particules de diamètre aérodynamique moyen < 10 µm (PM<sub>10</sub>) et de dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>). Les données cliniques ont été recueillies par questionnaire individuel rempli journalièrement par les enfants sous supervision des adultes, sur la survenue ou non de symptômes respiratoires, oculaires et ORL. Les associations entre polluants de l'air ambiant ont été testées par régressions multivariées de type GAMM (modèle additif généralisé mixte) puis modèles linéaires de type GEE (équations d'estimation généralisées). Les décalages temporels entre exposition et apparition des symptômes ont été évalués par modèle GEE univarié. En saison fraîche, une part des symptômes (irritation du nez et des yeux [OR = 1,06 ; intervalle de confiance à 95 % = 1,02-1,07], toux [OR = 1,08 ; 1,04-1,13] et difficultés respiratoires [OR = 1,13 ; 1,07-1,20] chez l'ensemble des enfants est liée aux variations des concentrations de SO<sub>2</sub>, avec des effets plus marqués chez les enfants mélanésiens. Des effets nocifs du NO<sub>2</sub> sont observés chez les enfants les plus sensibles (souffrant d'asthme et/ou de rhino-conjonctivite allergique). Ces résultats sont en accord avec la littérature et montrent que dans cette situation particulière tous les écoliers peuvent souffrir de l'exposition au SO<sub>2</sub>.

**Mots clés :** pollution de l'air ; Nouméa ; SO<sub>2</sub> ; enfants.

### Abstract

#### **Air quality in Noumea and the respiratory health of children. A panel study**

*Air quality in Noumea (New Caledonia) is a topic of public concern, especially in view of an industrial complex in the city that intermittently emits sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) along with other air pollutants. The available literature is relatively old and concerns essentially asthmatic children highly exposed to SO<sub>2</sub>. We conducted a 6-week panel study (July to September, 2012) of 469 schoolchildren aged 8-12, attending 7 volunteer primary schools located close to stations performing routine monitoring for SO<sub>2</sub>, particulate matter of mean aerodynamic diameter <10 µm (PM<sub>10</sub>), and nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>). Individual clinical data were recorded daily by the children under supervision. Associations between exposure to air pollutants and symptom onset were tested first with multivariate regression Generalized Additive Mixed Models (GAMM) and then with Generalized Estimating Equation (GEE) linear models. Lags from exposure until onset were estimated through univariate GEEs. During the cold season, some symptoms (eye and nose irritation [OR=1.06; 95% confidence interval=1.02-1.07], coughing [OR=1.08; 1.04-1.13], and breathing difficulties [OR=1.13; 1.07-1.20]) were associated with variations in SO<sub>2</sub>*

Pour citer cet article : Bard D, Laumont S, Le Plomb E, Hattermann L, Segala C, Rivière E. Qualité de l'air à Nouméa et santé respiratoire des écoliers. Une étude de panel. *Environ Risque Sante* 2017 ; 16 : 462-471. doi : 10.1684/ers.2017.1064

*concentrations in the overall population of children, especially the Melanesians. Noxious effects of NO<sub>2</sub> were exhibited by the more susceptible children (those with current or recent asthma or allergic rhinitis). These results are in line with the literature. Thus air pollution including SO<sub>2</sub> exposure in this setting can produce symptoms in all schoolchildren.*

**Key words:** Noumea; air pollution; SO<sub>2</sub>; children.

De très nombreuses publications sur les relations santé-pollution chez les enfants existent en rapport avec les différents polluants surveillés (PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> et plus rarement SO<sub>2</sub>). Une revue récente de la littérature sur les études de panel rapporte que si les effets des PM<sub>10</sub> et du NO<sub>2</sub> sur les symptômes et la fonction pulmonaire sont le plus souvent significatifs, ceux du SO<sub>2</sub> sont moins constants [1]. Une discussion plus détaillée de ce dernier polluant est ainsi justifiée. La plupart des études positives ont été réalisées chez des enfants asthmatiques, souvent au cours des années 1990 et au début des années 2000, dans un contexte de niveaux de concentrations en SO<sub>2</sub> plus élevés qu'aujourd'hui. Par ailleurs, peu de travaux s'intéressent aux enfants en général.

L'étude de panel de Peters [2], dans trois villes d'ex-Allemagne de l'Est et de la République tchèque, montre une association entre l'exposition au SO<sub>2</sub> et une diminution du débit expiratoire de pointe (DEP) ainsi qu'une augmentation d'un score de symptômes chez des enfants asthmatiques de 7 à 15 ans. Il est à noter que les concentrations aériennes de SO<sub>2</sub> étaient élevées (moyenne journalière en hiver variant de 71 à 236 µg/m<sup>3</sup> selon les villes). À Paris, une étude de panel conduite en hiver chez des enfants asthmatiques montre des associations significatives entre le SO<sub>2</sub> et les symptômes et prises de médicaments (moyenne journalière de SO<sub>2</sub> de 21,7 µg/m<sup>3</sup>) [3]. L'étude de Van der Zee [4] a inclus 320 enfants avec symptômes respiratoires chroniques et 313 sains sans symptômes durant trois hivers successifs dans des zones urbaines et rurales des Pays-Bas. En dépit de niveaux médians de SO<sub>2</sub> faibles, selon les hivers, de 4 à 9 µg/m<sup>3</sup> en milieu rural et de 6 à 23 µg/m<sup>3</sup> en milieu urbain, l'exposition au SO<sub>2</sub> est associée positivement à une diminution du DEP, positivement aux symptômes respiratoires inférieurs et aux prises de médicaments chez les enfants avec symptômes en milieu urbain. Aucune relation n'est mise en évidence avec le SO<sub>2</sub> en milieu rural, et chez les enfants sains en milieu urbain. Dans l'étude de panel de Delfino [5] réalisée également chez des enfants asthmatiques (10 à 16 ans) aux États-Unis, le SO<sub>2</sub> (moyenne du maximum horaire journalier autour de 18,3 µg/m<sup>3</sup>) est significativement lié à l'apparition de symptômes. De même, l'étude de panel de Lee [6] réalisée chez des enfants de 9 à 10 ans en Corée montre un effet du

SO<sub>2</sub> (à des concentrations relativement faibles : moyenne journalière de 12,6 µg/m<sup>3</sup>) sur l'apparition de symptômes des voies respiratoires inférieures (notamment les sifflements). Deux études en revanche ne montrent pas d'effet du SO<sub>2</sub> : l'étude de panel [7] réalisée aux États-Unis chez des enfants asthmatiques entre 5 et 13 ans, avec des niveaux médians autour de 18,3 µg/m<sup>3</sup>, et celle d'Aekplakorn [8] en Thaïlande, également négative, qui s'est intéressée à des enfants entre 6 et 14 ans, asthmatiques et non asthmatiques vivant à proximité d'une installation industrielle émettant du SO<sub>2</sub> (niveaux médians entre 4,6 et 17,3 µg/m<sup>3</sup> selon les villages).

La pollution atmosphérique sur la commune de Nouméa (Nouvelle-Calédonie) présente des caractéristiques particulières. La zone industrielle de Doniambo est située en pleine ville (*figure 1*), elle s'est historiquement construite à l'écart de la ville autour d'une usine de transformation du nickel installée depuis plus d'un siècle, puis a été rattrapée par l'urbanisation. La pollution de l'air qui émane de la zone se caractérise par la présence de concentrations moyennes à fortes en SO<sub>2</sub> et en particules PM<sub>10</sub>; la dispersion du panache est 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. En saison fraîche (juillet à septembre), c'est une pollution de pointe épisodique, c'est-à-dire de courte durée (quelques heures) et très localisée, qui peut être rabattue sur les zones urbanisées de Nouméa, mais avec potentiellement des conséquences en termes de symptômes respiratoires irritatifs ressentis par la population. L'autre source de pollution est le trafic routier notamment sur les grands axes routiers qui mènent à Nouméa, en rapport avec les pics de trafic liés aux horaires de travail, et intra-muros sur les principaux axes de circulation.

Les nuisances ressenties localement par la population ont conduit le gouvernement de Nouvelle-Calédonie à solliciter la réalisation d'une étude épidémiologique sur les répercussions sanitaires de la qualité de l'air à Nouméa chez les enfants, justifiée par ailleurs par les résultats non parfaitement convergents des études existantes. Ces divergences pourraient s'expliquer au moins en partie par des différences de modes de vie selon les contextes culturels. De ce point de vue, le mélange des communautés, particulier à la Nouvelle-Calédonie, fournit un modèle intéressant. Par ailleurs, l'étude ISAAC



**Figure 1.** Répartition géographique des écoles incluses dans l'étude et de l'usine de Doniambo, zone de Nouméa.

**Figure 1.** Location of the schools included in the study and of the Doniambo factory, Noumea metropolitan area.

(*International Study of Asthma and Allergies in Childhood*) réalisée en Nouvelle-Calédonie, en 1998, avait montré des prévalences d'affections allergiques comparables avec celles de la métropole [9].

Il a été décidé de réaliser une étude de panel dans le but d'analyser la relation à court terme entre les concentrations journalières des principaux polluants, mesurées par les stations, et la survenue de symptômes touchant les yeux et les sphères ORL et respiratoire (irritations du nez et des yeux, toux, gêne respiratoire), ainsi que la fièvre ressentie, chez des enfants de CM1 et CM2 recrutés dans des écoles primaires de Nouméa, en saison fraîche. Un objectif secondaire était de juger si

l'impact de la pollution était plus important chez les enfants potentiellement plus sensibles, les enfants allergiques et asthmatiques.

## Matériel et méthodes

### Période d'étude

L'étude a duré six 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 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.

### Zones d'étude

Les sept écoles sélectionnées, volontaires et sensibilisées, car à proximité de stations et réparties dans cinq quartiers de la ville, étaient celles dans lesquelles des stations de mesure de polluants avaient été installées et celles situées à proximité immédiate d'une station de mesure (*figure 1*). Le *tableau 1* présente l'ensemble des écoles par quartier ainsi que les polluants mesurés dans les stations. Les mesures de polluants sont des moyennes journalières pour le SO<sub>2</sub>, le NO<sub>2</sub> et les PM<sub>10</sub>.

### Données cliniques

Une fiche technique a été rédigée à destination des enseignants. Elle renseignait l'ensemble des procédures d'information (aux parents et enfants), de recueil et de transmission des données entre les écoles et la Direction départementale des affaires sanitaires et sociales (DASS). Un questionnaire individuel a été rempli au début de l'étude par les enfants pendant le temps scolaire sous la surveillance de l'enseignant. Il comprenait des données sociodémographiques, les antécédents allergiques et

**Tableau 1.** Écoles sélectionnées, quartiers de Nouméa et polluants mesurés.

*Table 1. Selected schools and districts; pollutants measured.*

Nom de l'établissement	Quartier	Polluants mesurés
École Isidore NOELL	Montravel	SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub>
École Gustave MOUCHET	Montravel	SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub>
École François GRISCELLI	Vallée du Tir	SO <sub>2</sub>
École Gustave LODS	Logicoop	SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub>
École Edmond DESBROSSE	Kaméré	SO <sub>2</sub>
Écoles Paul BOYER et Marguerite CARLIER	Faubourg Blanchot	SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub>
École Candice KOCH	Faubourg Blanchot	SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub>

respiratoires personnels, la prise de médicaments, le tabagisme passif et d'autres éléments du mode de vie pouvant influencer sur la santé. Les symptômes ORL, respiratoires et oculaires ainsi que les épisodes de fièvre et les traitements pendant l'enquête ont été recueillis dans un carnet journalier par les élèves 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.

## Analyse

Les données manquantes des variables météorologiques ont été imputées en moyennant les valeurs des deux jours précédents et des deux jours suivants [10]. Les effets de la pollution et des facteurs météorologiques pouvaient être dus à l'exposition immédiate mais aussi à l'exposition des jours précédant l'événement étudié. C'est pourquoi les décalages (de J1 à J6) et les moyennes sur plusieurs jours ont été créés pour chaque facteur météorologique et chaque polluant.

Les trois modalités des variables de symptômes du carnet journalier ont été regroupées afin d'obtenir une variable binaire (0 si symptôme = « pas du tout », 1 si symptôme = « un peu » ou « beaucoup »). Cinq symptômes ont été analysés : fièvre ressentie, irritations du nez, irritations des yeux, toux et difficultés respiratoires.

Enfin, pour les analyses de sensibilité détaillées ci-après, la variable binaire « asthme actuel » a été créée à partir de la combinaison 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 régulière de médicaments pour l'asthme ; la variable rhinite allergique (ou rhume des foins) est celle présente dans le questionnaire d'inclusion.

Les régressions multivariées de type GAMM (modèle additif généralisé mixte) ont permis de vérifier que les relations entre les symptômes et les paramètres météorologiques ou les polluants atmosphériques étaient linéaires ou quasi-linéaires, autorisant pour quantifier la relation entre symptômes et polluants l'utilisation de modèles linéaires type GEE (équations d'estimation généralisées).

Le choix des décalages des facteurs météorologiques a été réalisé à l'aide du QIC (*Quasi-likelihood Information Criterion*) 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  $\beta$  de la variable de pollution dans un modèle GEE multivarié incluant les facteurs temporels et les décalages des données météorologiques retenues. Après examen de l'ensemble des *odds ratios* obtenus, le choix s'est porté pour une présentation des relations entre les polluants et les symptômes pour un effet du jour même et de la moyenne

des concentrations sur trois jours (jour même, la veille et l'avant-veille).

Afin de vérifier la robustesse des résultats, des analyses excluant les valeurs les plus fortes de  $SO_2$  (pour les moyennes journalières d'une part et maxima horaires d'autre part) ont été réalisées. Pour cela, les valeurs supérieures au percentile 99 ont été retirées de l'analyse (exclusion de 1 % des valeurs les plus fortes) pour s'assurer que ces valeurs n'avaient pas une influence déterminante sur les résultats. Par ailleurs, des analyses stratifiées ont été conduites afin de déterminer si certains groupes d'enfants étaient plus sensibles à la pollution. La maladie asthmatique et la rhinite allergique pouvaient modifier la sensibilité des enfants à l'impact de la pollution. Cette hypothèse a été explorée en réalisant les analyses sur les groupes d'enfants avec et sans « asthme actuel » déclaré et les groupes avec et sans rhinite allergique déclarée. Des analyses ont aussi été conduites par quartier et dans les deux communautés les plus représentées dans la zone urbaine du Grand Nouméa (mélanésiennes et européennes) afin de vérifier l'influence des différences d'exposition entre quartiers, d'une part, et l'influence de la communauté d'appartenance, d'autre part.

Les relations entre les symptômes et les concentrations de polluant le jour même (décalage 0) et celles moyennées pour le jour même, la veille et l'avant-veille (moyenne 0-2) ont été ajustées 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. Les résultats ont été exprimés pour une augmentation de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  du polluant indicateur.

L'ensemble des analyses a été réalisé avec le logiciel SAS® avec un risque de 1<sup>re</sup> espèce  $\alpha$  de 5 %, à l'exception du modèle GAMM réalisé avec le logiciel R.

## Résultats

### Caractéristiques sociodémographiques des enfants

Après signature du consentement par leurs parents, 469 enfants de CM1 et CM2 ont participé à l'étude. Le *tableau 2* présente les principales caractéristiques sociodémographiques des enfants et leur répartition par école.

Les enfants avaient entre 8 et 12 ans (9,8 en moyenne), 54 % d'entre eux étaient des garçons. La grande majorité de leurs parents travaillaient. Enfin, 80 % des enfants étaient nés en Nouvelle-Calédonie.

### Qualité de l'air

Les niveaux de pollution durant la période d'étude étaient plus élevés que les moyennes annuelles, en raison

**Tableau 2.** Caractéristiques sociodémographiques des enfants.

Table 2. Social and demographic characteristics of schoolchildren studied.

	N (%)
<b>Sexe</b>	
Garçon	255 (53,6)
Fille	214 (46,4)
<b>École (quartier)</b>	
BOYER-CARLIER (Faubourg Blanchot)	140 (30,3)
Candice KOCH (Faubourg Blanchot)	83 (17,7)
Gustave LODS (Logicoop)	81 (17,3)
Edmond DESBROSSE (Kaméré)	58 (12,4)
Isidore NOELL (Montravel)	37 (7,9)
Gustave MOUCHET (Montravel)	35 (7,5)
François GRISCELLI (Vallée du Tir)	35 (7,0)
<b>Activité du père ou beau-père</b>	
Travail	392 (89,5)
Chômage	26 (5,9)
Autre	20 (14,6)
<b>Activité de la mère ou belle-mère</b>	
Travail	338 (74,9)
Chômage	70 (16,0)
Autre	40 (9,1)
<b>Résidence en Nouvelle-Calédonie</b>	
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)
<b>Communauté</b>	
Mélanésien	101 (23,1)
Européen	104 (23,7)
Polynésien	38 (8,7)
Asiatique	10 (2,3)
Métis	128 (29,3)
Autres	57 (13,0)

de vents faibles (tableau 3). Les corrélations entre le SO<sub>2</sub> et les PM<sub>10</sub>, d'une part, et le NO<sub>2</sub>, d'autre part, étaient relativement faibles (autour de 0,50) signant au moins en partie des sources différentes (à la fois industrielles et trafic), à l'exception du quartier du Faubourg Blanchot où ces corrélations dépassaient 0,80. Les niveaux de pollution différaient en effet fortement entre les quartiers. Durant la période d'étude, les quartiers au nord de Doniambo, Kaméré et Logicoop étaient les moins pollués, en ce qui concerne les moyennes et les maximales de SO<sub>2</sub>, des PM<sub>10</sub> et du NO<sub>2</sub>. Si la moyenne de SO<sub>2</sub> la plus élevée était observée dans le quartier Faubourg Blanchot, devant Montravel et Vallée du Tir, les maximales de ce polluant étaient observées dans ces deux derniers quartiers. Les concentrations moyennes de PM<sub>10</sub> et de NO<sub>2</sub> étaient plus élevées à Montravel qu'à Faubourg Blanchot. Ce constat,

sur les six semaines d'étude, diffère des moyennes annuelles observées au cours des années précédentes (rapports Scal'Air), où les moyennes annuelles de SO<sub>2</sub> étaient plus élevées à Logicoop, qu'à Montravel et au Faubourg Blanchot.

## Relation à court terme entre symptômes et polluants

Au cours de l'étude, la prévalence des symptômes recueillis quotidiennement décroissait environ de moitié, en rapport avec l'évolution des conditions météorologiques (baisse des précipitations et augmentation de la température), alors que le taux de réponse aux questionnaires journaliers restait stable, de 90 à 100 %.

Aucune relation significative n'a été observée avec le trafic routier tel qu'évalué par les enfants.

Le SO<sub>2</sub> était significativement lié à chacun des symptômes étudiés, seule la fièvre était à la limite de la significativité. Aucune relation n'a été observée entre les autres polluants et les symptômes (figure 2).

L'analyse de sensibilité, excluant les jours à concentration élevée de SO<sub>2</sub>, n'a changé que très marginalement les résultats.

Les analyses stratifiées ont montré que chez les enfants présentant un « asthme actuel » (figure 3), le NO<sub>2</sub> en moyenne de concentration 0-2 jours exacerbait les irritations du nez (OR = 1,28 ; intervalle de confiance à 95 % = 1,07-1,53), la toux (OR = 1,23 ; 1,03-1,47) et les difficultés respiratoires (OR = 1,25 ; 1,04-1,51), les PM<sub>10</sub> étant à la limite de la significativité pour ce dernier symptôme (OR = 1,20 ; 0,99-1,45).

Ce même gaz était par ailleurs associé à des excès de risque chez les enfants souffrant de rhinite allergique (figure 4) : irritations des yeux (OR = 1,21 ; 1,01-1,46) et fièvre (OR = 1,37 ; 1,14-1,65).

Lorsque l'on regroupe les quartiers proches (Kaméré et Logicoop, Vallée du Tir et Montravel), une relation significative apparaît entre difficultés respiratoires et NO<sub>2</sub> du même jour (OR = 1,23 ; 1,01-1,50) et PM<sub>10</sub> (moyenne des dernières 48 heures, OR = 1,45 ; 1,13-1,86) dans ces deux derniers quartiers, tandis qu'une relation entre la toux et NO<sub>2</sub> du même jour est mise en évidence dans les quartiers Logicoop et Kaméré (OR = 1,14 ; 1,004-1,30).

Les effets du SO<sub>2</sub> sont essentiellement retrouvés chez les enfants d'origine mélanésienne (tableau 4). Ceux-ci habitent majoritairement dans les quartiers de Kaméré et Logicoop (62 %) et Montravel et Vallée du Tir (27 %).

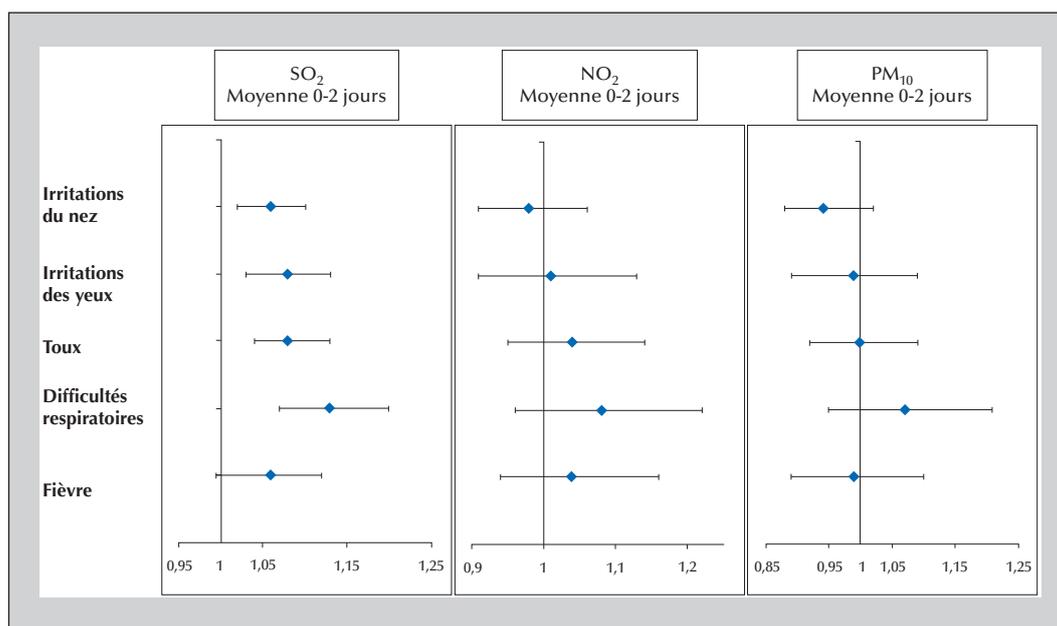
## Discussion

Ce travail sur la relation à court terme entre les niveaux de pollution et les symptômes chez les enfants scolarisés de Nouméa indique que, pour cette période de

**Tableau 3.** Concentrations en polluants mesurées dans chacune des stations sur la période d'étude.

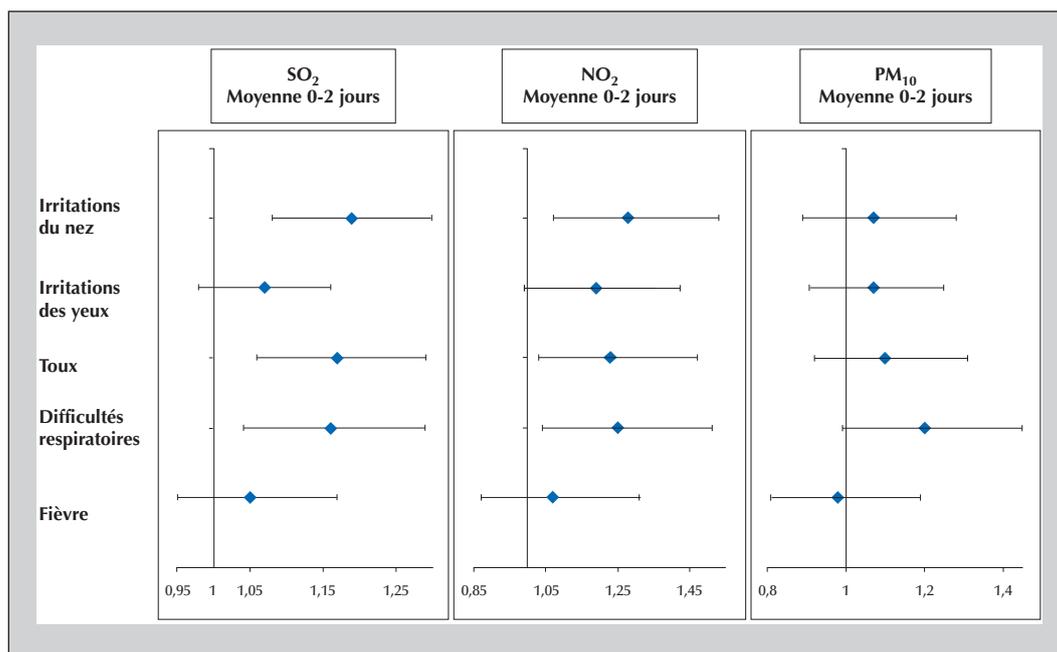
*Table 3. Pollutant concentrations in each Noumea monitoring station over the study period.*

Polluant	Stations	Concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			
		Moyenne	Écart-type	Minimum	Maximum
SO <sub>2</sub> , moyenne journalière	Kaméré	5	4	0	20
	Logicoop	5	5	0	20
	Montravel	7	15	0	90
	Vallée du Tir	8	16	0	92
	Faubourg Blanchot	11	13	0	47
SO <sub>2</sub> , maximum horaire journalier	Kaméré	18	22	2	90
	Logicoop	32	42	0	164
	Montravel	48	92	0	380
	Vallée du Tir	60	103	0	498
	Faubourg Blanchot	57	66	0	271
NO <sub>2</sub> , moyenne journalière	Logicoop	7	4	1	19
	Montravel	15	7	4	31
	Faubourg Blanchot	12	8	1	33
PM <sub>10</sub> , moyenne journalière	Logicoop	14	4	7	30
	Montravel	22	8	9	41
	Faubourg Blanchot	17	8	5	35
O <sub>3</sub> , maximum journalier sur 8 heures	Faubourg Blanchot	50	6	32	62



**Figure 2.** Associations entre polluants et symptômes chez l'ensemble des enfants. *Odds ratios* pour une augmentation de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  des concentrations de polluants.

**Figure 2.** Associations between pollutants and respiratory symptoms in all children: *odds ratios* for each 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  increase in pollutant concentrations.



**Figure 3.** Associations entre polluants et symptômes chez les enfants asthmatiques. *Odds ratios* pour une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> des concentrations de polluants.

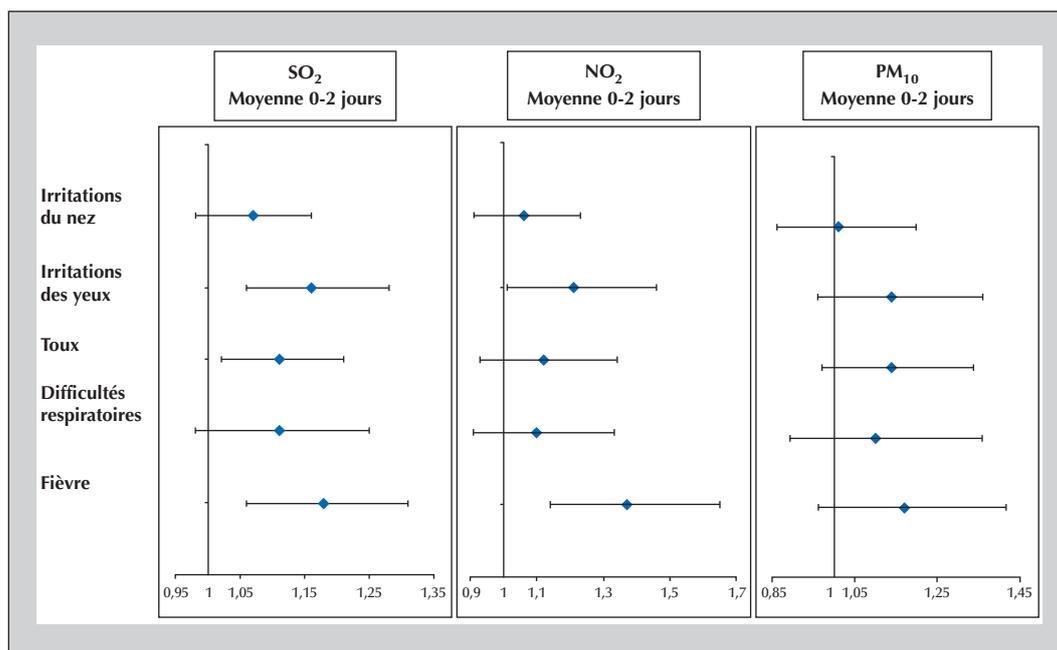
**Figure 3.** Associations between pollutants and respiratory symptoms in children with asthma: *odds ratios* for a 10 µg/m<sup>3</sup> increase in pollutant concentrations.

l'année, le SO<sub>2</sub> est le polluant le plus lié aux symptômes étudiés (irritations du nez, irritations des yeux, toux et difficultés respiratoires) chez l'ensemble des enfants. L'effet est immédiat et se prolonge sur quelques jours. Aucun effet du NO<sub>2</sub> et des PM<sub>10</sub> n'est mis en évidence pour l'ensemble des enfants.

L'effet délétère du NO<sub>2</sub> n'est observé que chez les enfants les plus sensibles, souffrant d'asthme et/ou de rhino-conjonctivite allergique. Même si les résultats ne sont pas toujours significatifs, la relation SO<sub>2</sub>-symptômes tend à être plus élevée chez les enfants des quartiers de Kaméré et Logicoop (au nord de Doniambo) que chez ceux des quartiers de Montravel et de la Vallée du Tir. Or ces quartiers nord présentent des niveaux de concentrations en SO<sub>2</sub> plus faibles en cette période de l'année, mais les enfants y sont plus exposés tout le reste de l'année. Ces mêmes quartiers présentent la plus grande proportion d'enfants asthmatiques et allergiques de l'échantillon. En revanche, dans le quartier du Faubourg Blanchot, habité quasi exclusivement par des enfants européens, la relation SO<sub>2</sub>-symptômes est plus faible que dans les autres quartiers malgré un taux moyen de SO<sub>2</sub> plus élevé et une proportion d'enfants asthmatiques ou allergiques plus élevée que dans les autres quartiers. L'analyse stratifiée dans les deux communautés les plus nombreuses confirme une sensibilité plus grande des enfants mélanésiens aux effets du SO<sub>2</sub> (tableau 4).

Dans toutes les études de panel présentées en introduction, les associations avec les indicateurs de santé sont toujours présentées pour le niveau de SO<sub>2</sub> du jour même, et parfois des jours précédents et/ou des moyennes de SO<sub>2</sub> sur plusieurs jours, entre trois et cinq jours le plus souvent. Dans notre travail, nous avons testé les effets des taux de SO<sub>2</sub> du jour même, des jours précédents J1 à J6 et des moyennes 0-1 à 0-6 jours (jour même et jours précédents). Les *odds ratios* les plus importants sont soit pour le jour même, soit pour les moyennes sur plusieurs jours.

Les études écologiques temporelles, qui permettent également d'explorer ce type de relation à court terme entre l'élévation des concentrations de polluants et des indicateurs de santé, retrouvent la même diversité des résultats pour le SO<sub>2</sub> dans ce type d'étude avec données agrégées. Ainsi l'étude de Hajat [11] à Londres (avec une concentration moyenne journalière de 21 µg/m<sup>3</sup>) montre que l'augmentation du SO<sub>2</sub> entraîne une augmentation significative des consultations chez les médecins généralistes pour maladies des voies respiratoires supérieures chez les enfants de 0 à 14 ans, ce lien se maintenant après ajustement sur les PM<sub>10</sub> ou le NO<sub>2</sub>. Hwang [12] à Taiwan (concentration moyenne journalière en SO<sub>2</sub> de 14,1 µg/m<sup>3</sup>) montre un lien entre l'élévation des concentrations de SO<sub>2</sub> et les consultations en clinique pour maladies des voies respiratoires inférieures chez les



**Figure 4.** Associations entre polluants et symptômes chez les enfants présentant une rhinite allergique. Odds ratios pour une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> des concentrations de polluants.

**Figure 4.** Associations between pollutants and respiratory symptoms in children with allergic rhinitis: odds ratios for a 10 µg/m<sup>3</sup> increase in pollutant concentrations.

enfants de moins de 14 ans. De même, dans l'étude multicentrique européenne APHEA2 [13], le nombre d'admission aux urgences pour asthme augmente avec la concentration de SO<sub>2</sub> chez les enfants de moins de 14 ans, mais cette association n'est plus significative dans les modèles bi-polluants avec soit les PM<sub>10</sub>, soit le monoxyde de carbone (les niveaux journaliers moyens de SO<sub>2</sub> variant de 6,8 à 32,5 µg/m<sup>3</sup> selon les villes) ; il n'y a pas de relation entre le SO<sub>2</sub> et les autres motifs respiratoires d'admissions hospitalières. En revanche, une étude italienne dans la seule ville de Rome (niveau journalier moyen de SO<sub>2</sub> de 9,1 µg/m<sup>3</sup>) [14] ne montre pas de relation entre les admissions hospitalières pour cause respiratoire des 0-14 ans et le SO<sub>2</sub>.

Ces résultats ne sont pas en contradiction avec ceux de notre étude puisque, même si les résultats des PM<sub>10</sub> et du NO<sub>2</sub> sont non significatifs pour l'ensemble des enfants, un effet du NO<sub>2</sub> et dans une moindre mesure des PM, est mis en évidence chez les enfants les plus sensibles, ayant de l'asthme ou une rhinite allergique.

L'analyse de sensibilité qui a consisté à soustraire, d'une part, les trois journées avec les moyennes journalières de SO<sub>2</sub> les plus élevées (une à Montravel et deux dans la Vallée du Tir) et, d'autre part, les trois journées avec les maxima horaires journaliers de SO<sub>2</sub> les plus élevées (deux à Montravel, un dans la Vallée du Tir) révèle que la relation entre les concentrations de SO<sub>2</sub> et les symptômes n'est pas influencée de façon marquante

**Tableau 4.** Comparaison des effets du SO<sub>2</sub> entre enfants européens et enfants mélanésiens (OR pour une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> de la concentration en SO<sub>2</sub>).

*Table 4. Comparison of effects of SO<sub>2</sub> on European and Melanesian children, for each 10 µg/m<sup>3</sup> increase in SO<sub>2</sub>.*

Communauté	Symptômes : odds ratios [intervalle de confiance à 95 %]			
	Irritations nez (Décalage 0)	Toux (Moyenne 0-2 jours)	Difficultés respiratoires (Moyenne 0-2 jours)	Fièvre (Décalage 0)
Enfants mélanésiens	OR = 1,08 [1,03-1,13]	OR = 1,11 [1,03-1,20]	OR = 1,15 [1,04-1,27]	OR = 1,07 [1,001-1,15]
Enfants européens	OR = 1,03 [0,99-1,07]	OR = 1,03 [0,94-1,14]	OR = 1,05 [0,92 -1,21]	OR = 1,08 [1,01-1,14]

par ces journées particulières à valeurs très élevées de SO<sub>2</sub>. Les variations d'un jour à l'autre des polluants, même à des niveaux moins importants, provoquent la survenue de symptômes.

Cette étude rapporte dans cette population particulière des prévalences d'asthme et de maladies allergiques particulièrement élevées, en comparaison notamment avec les chiffres de l'enquête ISAAC de Nouvelle-Calédonie [9]. Notons que celle-ci, datant de 1998, avait été réalisée sur l'ensemble de la Nouvelle-Calédonie dans une population représentative des enfants de 13-14 ans. La proportion d'enfants atteints d'asthme au cours de la vie est ici de 21,2 % versus 12,5 % en 1998, celle de rhino-conjonctivite allergique de 21,7 % versus 13,8 % et celle d'eczéma de 29,1 % versus 12,5 % [9]. On observe aussi dans cette enquête que ces prévalences diffèrent entre les communautés d'appartenance, avec des prévalences plus faibles chez les mélanésiens, mais plus marquées que dans l'enquête ISAAC, mais à cette époque la communauté « métis » n'avait pas été distinguée. Il faut souligner que l'échantillon enquêté dans notre étude n'est pas représentatif, il ne concerne que les enfants de Nouméa et ce n'est pas la même tranche d'âge qui est observée. Néanmoins, ce résultat est cohérent avec l'augmentation décrite au niveau international. L'étude ISAAC montre une augmentation de l'asthme au cours de la vie chez les enfants entre la phase I (1993-1996) et la phase III (2000-2003) de l'étude [15]. L'augmentation au niveau mondial est de 0,28 % et 0,18 % par an chez respectivement les enfants de 13-14 ans et 6-7 ans. Pour l'Océanie, l'augmentation est de 0,93 % et 0,42 % par an chez respectivement les enfants de 13-14 ans et 6-7 ans.

D'autres limites peuvent 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 leur école, il reste possible

que certains d'entre eux vivent dans un autre quartier. En dehors des heures de classe, ils sont donc 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.

## Conclusion

Cette étude confirme que les niveaux de pollution observés pendant la période d'étude provoquent des symptômes chez les enfants scolarisés de Nouméa. Le SO<sub>2</sub> apparaît être le polluant le plus irritant, entraînant des symptômes touchant les yeux, les sphères ORL et respiratoire chez tous les enfants. La sensibilité plus marquée des enfants d'origine mélanésienne aux effets du SO<sub>2</sub> mériterait des travaux complémentaires pour en élucider les causes. ■

## Remerciements et autres mentions

**Financement** : Gouvernement de Nouvelle-Calédonie ;  
**liens d'intérêts** : les auteurs déclarent ne pas avoir de lien d'intérêt.

## Références

- Li S, Williams G, Jalaludin B, Baker P. Panel studies of air pollution on children's lung function and respiratory symptoms: a literature review. *J Asthma* 2012 ; 49 : 895-910.
- Peters A, Goldstein IF, Beyer U, et al. Acute health effects of exposure to high levels of air pollution in eastern Europe. *Am J Epidemiol* 1996 ; 144 : 570-81.
- Segala C, Fauroux B, Just J, Pascual L, Grimfeld A, Neukirch F. Short-term effect of winter air pollution on respiratory health of asthmatic children in Paris. *Eur Respir J* 1998 ; 11 : 677-85.
- van der Zee S, Hoek G, Boezen HM, Schouten JP, van Wijnen JH, Brunekreef B. Acute effects of urban air pollution on respiratory health of children with and without chronic respiratory symptoms. *Occup Environ Med* 1999 ; 56 : 802-12.
- Delfino RJ, Gong Jr H, Linn WS, Pellizzari ED, Hu Y. Asthma symptoms in Hispanic children and daily ambient exposures to toxic and criteria air pollutants. *Environ Health Perspect* 2003 ; 111 : 647-56.
- Lee BE, Ha EH, Park HS, et al. Air pollution and respiratory symptoms of school children in a panel study in Seoul. *J Prev Med Public Health* 2005 ; 38 : 465-72.
- Yu O, Sheppard L, Lumley T, Koenig JQ, Shapiro GG. Effects of ambient air pollution on symptoms of asthma in Seattle-area children enrolled in the CAMP study. *Environ Health Perspect* 2000 ; 108 : 1209-14.

8. Aekplakorn W, Loomis D, Vichit-Vadakan N, Shy C, Plungchuchon S. Acute effects of SO<sub>2</sub> and particles from a power plant on respiratory symptoms of children, Thailand. *Southeast Asian J Trop Med Public Health* 2003 ; 34 : 906-14.
9. Foliaki S, Annesi-Maesano I, Daniel R, et al. Prevalence of symptoms of childhood asthma, allergic rhinoconjunctivitis and eczema in the Pacific: the International study of asthma and allergies in childhood (ISAAC). *Allergy* 2007 ; 62 : 259-64.
10. Andersen ZJ, Loft S, Ketznel M, et al. Ambient air pollution triggers wheezing symptoms in infants. *Thorax* 2008 ; 63 : 710-6.
11. Hajat S, Anderson HR, Atkinson RW, Haines A. Effects of air pollution on general practitioner consultations for upper respiratory diseases in London. *Occup Environ Med* 2002 ; 59 : 294-9.
12. Hwang JS, Chan CC. Effects of air pollution on daily clinic visits for lower respiratory tract illness. *Am J Epidemiol* 2002 ; 155 : 1-10.
13. Sunyer J, Atkinson R, Ballester F, et al. Respiratory effects of sulphur dioxide: a hierarchical multicity analysis in the APHEA 2 study. *Occup Environ Med* 2003 ; 60 : e2.
14. Fusco D, Forastiere F, Michelozzi P, et al. Air pollution and hospital admissions for respiratory conditions in Rome, Italy. *Eur Respir J* 2001 ; 17 : 1143-50.
15. Pearce N, Ait-Khaled N, Beasley R, et al. Worldwide trends in the prevalence of asthma symptoms: phase III of the International study of asthma and allergies in childhood (ISAAC). *Thorax* 2007 ; 62 : 758-66.