



Scal Air



**ETUDES SUR LA SANTE EN RELATION
AVEC LA QUALITE DE L'AIR A NOUMEA.
ETUDE ECOLOGIQUE GEOGRAPHIQUE**

Rapport final

Sommaire

1	INTRODUCTION	5
1.1	CONTEXTE	6
1.2	OBJECTIFS DE L'ETUDE	7
1.3	PERIODE D'ETUDE	7
1.4	ZONE D'ETUDE	7
2	MATERIEL ET METHODES	8
2.1	SPATIALISATION DES DIFFERENTS POLLUANTS DANS LA ZONE D'ETUDE	8
2.1.1	Travaux de l'ASPA et présentation des données de NO ₂	8
2.1.2	Travaux de Scalair/Numtech et présentation des données de SO ₂ et de PM10	10
2.1.3	Exploitation des données de pollution	11
2.2	CREATION D'UN INDICE DE DEFAVEUR SOCIOECONOMIQUE	14
2.2.1	Justification de l'utilisation d'un indice de défaveur socioéconomique	14
2.2.2	Construction de l'indice à l'échelle de la zone d'étude	14
2.3	INDICATEURS SANITAIRES ET GEO-REFERENCEMENT DES ADRESSES	15
2.3.1	Mortalité	16
2.3.2	Hospitalisations	16
2.3.3	Longues Maladies	17
2.3.4	Médicaments pour asthme	17
2.4	METHODES STATISTIQUES	18
2.4.1	Analyses descriptives	18
2.4.2	Taux standardisés	18
2.4.3	Corrélations entre variables	19
2.4.4	Méthodologie et outils cartographiques	19
2.4.5	Evaluation des relations entre polluants et indicateurs de santé	20
3	RESULTATS	23
3.1	RESULTATS DESCRIPTIFS	23
3.1.1	Indicateurs de pollution	23
3.1.2	Indice de défaveur	26
3.1.3	Indicateurs sanitaires	28
3.1.4	Corrélation entre indicateurs de pollution et indice de défaveur	29
3.2	INDICATEURS SANITAIRES PAR QUARTIER	29
3.2.1	Décès par quartier	29
3.2.2	Hospitalisations par quartier	33
3.2.3	Médicaments pour asthme par quartier	36
3.3	RELATION ENTRE POLLUTION ET INDICATEURS DE SANTE	37
3.3.1	Indicateurs de santé – SO ₂	37
3.3.2	Indicateurs de santé – PM10	39
3.3.3	Indicateurs de santé – NO ₂	41
4	DISCUSSION ET CONCLUSION	43
5	REFERENCES	48
6	ANNEXES	51
6.1	CARACTERISTIQUES DEMOGRAPHIQUES DES QUARTIERS SUR LA ZONE DE NOUMEA	51
6.2	CARTES DE POLLUTION	52
6.3	NIVEAUX DE POLLUTION PAR QUARTIER	58
6.4	INDICE DE DEFAVEUR PAR QUARTIER	59

6.5	INDICATEURS SANITAIRES	61
6.6	SMR PAR QUARTIER	63
6.7	SIR PAR QUARTIER	67
6.8	AUTOCORRELATION SPATIALE	82
6.9	MODELES UNIVARIÉS	83

Liste des figures

<i>Figure 1 : Zone d'étude</i>	7
<i>Figure 2 : Localisation du tissu urbain au sein de la zone d'étude</i>	12
<i>Figure 3 : Maillage des concentrations de NO₂ pour les zones urbanisées du quartier de Vallée du Génie</i>	13
<i>Figure 4 : Part de tissu urbain continu et discontinu au sein des quartiers de la zone d'étude</i>	23
<i>Figure 5 : Concentration moyenne en NO₂ (2009-2012) des zones urbanisées à l'échelle des quartiers</i>	24
<i>Figure 6 : Concentration moyenne en SO₂ (2008-2012) des zones urbanisées à l'échelle des quartiers</i>	25
<i>Figure 7 : Concentration moyenne en PM₁₀ (2008-2012) des zones urbanisées à l'échelle des quartiers</i>	26
<i>Figure 8 : Niveau de défaveur socioéconomique, issu de l'indice élaboré dans le cadre de l'étude, à l'échelle des quartiers</i>	27
<i>Figure 9 : Caractéristiques des SMR pour toutes causes cardiovasculaires</i>	30
<i>Figure 10 : Caractéristiques des SMR pour toutes causes respiratoires</i>	31
<i>Figure 11 : Caractéristiques des SMR pour le cancer du poumon</i>	32
<i>Figure 12 : Caractéristiques des SIR pour les hospitalisations pour toutes causes cardiovasculaires</i>	34
<i>Figure 13 : Caractéristiques des SIR pour les hospitalisations pour toutes causes respiratoires</i>	35
<i>Figure 14 : Caractéristiques des SIR pour les prescriptions médicamenteuses pour asthme</i>	36

Liste des tableaux

<i>Tableau 1 : Détail des calculs de la concentration moyenne en NO₂ pour les zones urbanisées du quartier de Vallée du Génie</i>	13
<i>Tableau 2 : Détails de l'indice de défaveur socioéconomique</i>	15
<i>Tableau 3 : détails et codes CIM des causes de mortalité (DP = Diagnostic Principal)</i>	16
<i>Tableau 4 : Détails et codes CIM des causes d'hospitalisations (DP = Diagnostic Principal)</i>	17
<i>Tableau 5 : Principales caractéristiques des polluants sur la zone d'étude</i>	23
<i>Tableau 6 : Principales caractéristiques de l'indice de défaveur socioéconomique sur la zone d'étude</i>	27
<i>Tableau 7 : Détail des décès par cause, sexe et tranches d'âge</i>	28
<i>Tableau 8 : Détail des hospitalisations par cause, sexe et tranches d'âge</i>	28
<i>Tableau 9 : Détail des longues maladies par cause, sexe et tranches d'âge</i>	28
<i>Tableau 10 : Détail des consommations médicamenteuses pour asthme par cause, sexe et tranches d'âge</i>	28
<i>Tableau 11 : Détail des corrélations entre l'indice de défaveur socioéconomique et les trois polluants</i>	29
<i>Tableau 12 : Détail des corrélations pour chaque catégorie de SMR</i>	30
<i>Tableau 13 : Détail des corrélations pour chaque catégorie de SIR pour causes cardiovasculaires</i>	33
<i>Tableau 14 : Détail des corrélations pour chaque catégorie de SIR pour causes respiratoires</i>	33
<i>Tableau 15 : Détail des corrélations pour les SIR des prescriptions médicamenteuses pour asthme</i>	36
<i>Tableau 16 : Relation entre les moyennes de SO₂ et la mortalité avec ajustement sur la défaveur</i>	37
<i>Tableau 17 : Relation entre les moyennes de SO₂ et les hospitalisations avec ajustement sur la défaveur</i>	38
<i>Tableau 18 : Relation entre les moyennes de SO₂ et les hospitalisations par classe de défaveur</i>	38
<i>Tableau 19 : Relation entre moyennes de SO₂ et délivrance des médicaments avec ajustement sur la défaveur</i>	38
<i>Tableau 20 : Relation entre les moyennes de PM₁₀ et la mortalité avec ajustement sur la défaveur</i>	39

Tableau 21 : Relation entre moyennes de PM10 et mortalité par cancer du poumon par classe de défaveur.... 39

Tableau 22 : Relation entre les moyennes de PM10 et les hospitalisations avec ajustement sur la défaveur..... 40

Tableau 23 : Relation entre les moyennes de PM10 et les hospitalisations par classe de défaveur 40

Tableau 24 : Relation entre moyennes de PM10 et délivrance des médicaments avec ajustement sur défaveur41

Tableau 25 : Relation entre les moyennes de NO₂ et la mortalité avec ajustement sur la défaveur..... 41

Tableau 26 : Relation entre les moyennes de NO₂ et les hospitalisations avec ajustement sur la défaveur..... 42

Tableau 27 : Relation entre les moyennes de NO₂ et les hospitalisations par classe de défaveur 42

Tableau 28 : Relation entre moyennes de NO₂ et délivrance des médicaments avec ajustement sur défaveur.. 42

Liste des acronymes

ACP : Analyse en Composantes Principales

ADMS-Urban : Atmospheric Dispersion Modelling System (Urban)

ASPA : Association pour la Surveillance et l'Etude de la Pollution Atmosphérique en Alsace

AVC : Accident Vasculaire Cérébral

BPCO : Broncho Pneumopathie Obstructive Chronique

CAFAT : Caisse de compensation des prestations familiales et des accidents du travail

CHT : Centre Hospitalier Territorial

CIM : Classification Internationale des Maladies

CIP : Code Identifiant de Présentation

CITEPA : Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique

CO : Monoxyde de carbone

COV : Composés Organiques Volatils

DASS : Direction des Affaires Sanitaires et Sociales

DIM : Département d'Information Médicale

DIMENC : Direction de l'Industrie, des Mines et de l'Energie de la Nouvelle-Calédonie

DP : Diagnostic Principal

EHESP : Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique

EPAR : Epidémiologie des maladies Allergiques et Respiratoires

EphMRA : European pharmaceutical Market Research Association

IDD : Indice de défaveur

Inserm : Institut national de la santé et de la recherche médicale

IRIS : Ilots Regroupés pour l'Information Statistique

ISEE : Institut de la Statistique et des Etudes Economiques

LM : Longue Maladie

MNT : Modèle Numérique de Terrain

MOS : Mode d'Occupation du Sol

NO₂ : Dioxyde d'azote

NOx : Oxydes d'azote

OEIL : Observatoire de l'Environnement en Nouvelle-Calédonie

OPT : Office des Postes et Télécommunications

PM10 et PM2,5: Particules en suspension notées « PM » en anglais pour « Particulate Matter » <= à 10 µm et <= à 2,5 µm

RGNC : Réseau Géodésique de Nouvelle-Calédonie

RR : Risque Relatif

Scal-Air : Association de Surveillance Calédonienne de Qualité de l'Air

SIG : Système d'Information Géographique

SIR : Standardized Incidence Ratio

SIRS : Systèmes d'Information à Référence Spatiale

SLN : Société Le Nickel

SMR : Standardized Mortality Ratio

SO₂ : Dioxyde de soufre

1 INTRODUCTION

Le gouvernement de Nouvelle-Calédonie a souhaité mettre en place une étude épidémiologique sur les répercussions sanitaires de la pollution atmosphérique sur l'agglomération 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. Au-delà des émissions permanentes, la pollution d'origine industrielle induit des pointes épisodiques, c'est-à-dire de courte durée (quelques heures) et très localisées. 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 (Figure 1), 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 quand le panache de fumée est dispersé, par le vent, 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 concentrations de NO₂ restent modérés et en dessous des seuils réglementaires européens, bien que le laboratoire mobile placé au centre-ville de Nouméa ait toutefois relevé des niveaux moyens de NO₂ quatre fois supérieurs à ceux mesurés au niveau des stations fixes.

Le projet a été mené conjointement par la Direction des Affaires Sanitaires et Sociales (DASS), l'Association de Surveillance Calédonienne de Qualité de l'Air (Scal-Air), l'Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique (EHESP), l'Association pour la Surveillance et l'Etude de la Pollution Atmosphérique en Alsace (ASPA), l'équipe d'Epidémiologie des maladies Allergiques et Respiratoires (EPAR) de l'unité 1136 de l'Inserm et le bureau d'études en épidémiologie, biostatistiques, santé-environnement SEPIA-Santé. Une mission exploratoire s'est déroulée entre le 16 et 20 Avril 2012 pour identifier les différentes sources de données disponibles, identifier les méthodes les plus adaptées afin de spatialiser les données recueillies sur la pollution, proposer un ou des protocoles d'étude épidémiologique.

Suite à cette mission, il a été prévu de réaliser deux études : une étude de panel chez des écoliers s'intéressant aux effets à court terme de la pollution sur la santé, 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 socioéconomique de la population.

Ce rapport d'étude rapporte les résultats de l'étude écologique géographique. Celle-ci s'intéresse aux relations entre des indicateurs sanitaires (mortalité, hospitalisations, longues maladies et médicaments pour asthme) recueillis à l'échelle des quartiers du grand Nouméa pour la période 2008-2012 et les concentrations en polluants dans ces mêmes quartiers.

1.1 Contexte

Depuis une vingtaine d'années, les nombreuses études épidémiologiques réalisées, dans différentes zones géographiques du monde, ont mis en évidence l'existence d'associations, à court et long terme, entre différents indicateurs sanitaires (mortalité, pathologies cardiorespiratoires, cancer,...) et les niveaux de pollution atmosphérique couramment observés (Atkinson et al., 1999 ; Pope et al., 2002 ; Nafstad et al., 2004). Par ailleurs, ces études ne permettent pas de déceler de seuil en dessous duquel aucun effet sanitaire ne serait plus observé dans la population (Beelen et al., 2014). La nature causale des relations a soulevé de nombreux questionnements, mais est maintenant considérée comme plausible, notamment pour les particules en suspension (Dab et al., 2001 ; Pope et al., 2006). La plupart des éléments d'appréciation de la causalité sont respectés, notamment la constance, la cohérence, la temporalité des relations exposition-risque et les bénéfices sanitaires d'une diminution des niveaux de polluants (Filleul et al., 2003). Toutes ces études menées à travers le monde ont permis de se rendre compte que malgré un risque individuel faible, l'impact sanitaire collectif de la pollution de l'air n'est pas négligeable en termes de santé publique.

Plusieurs polluants sont étudiés en relation avec la santé, en particulier le dioxyde d'azote (NO₂) et les particules fines en suspension (PM), très présents en milieu urbain. Les PM résultent essentiellement de composés solides du carbone, des hydrocarbures non brûlés, mais aussi de l'usure des pneus et des métaux lourds. Dans le cadre de l'étude de la pollution atmosphérique, on distingue généralement deux granulométries de particules : les PM₁₀ (diamètre inférieur ou égal à 10 µm) et les PM_{2,5} (diamètre inférieur ou égal à 2,5 µm). La prise en compte du dioxyde de soufre (SO₂) est actuellement plus rare en Europe, dans la mesure où il s'agit d'un polluant d'origine essentiellement industrielle dont la concentration a fortement diminué en milieu urbain ces dernières années. Dans tous les cas, il s'agit de polluants traceurs ou indicateurs. Dans le cadre des études épidémiologiques, l'évaluation de l'exposition des individus est basée sur les mesures directes (stations de mesure des polluants et/ou spatialisation de ceux-ci à l'échelle d'un territoire) ou indirectes (proximité aux axes routiers ou à une installation industrielle).

L'étude des effets sanitaires à court terme des polluants est réalisée soit dans le cadre d'études de séries temporelles sur des données agrégées (nombre journaliers de décès ou d'hospitalisations mis en relation avec les concentrations journalières de polluants), soit des études de panel, comme l'étude des écoliers de Nouméa (avec recueil de symptômes journaliers sur un groupe de personnes). L'étude des effets à long terme fait surtout appel à des études de cohorte (comparant la survenue au cours du temps d'évènements de santé dans des villes plus ou moins polluées), et depuis plus récemment à des études écologiques géographiques. Il a été montré que les expositions à long terme ont des effets plus importants que les variations d'exposition à court terme des polluants (Zanobetti et al., 2003 ; Ren et al., 2008 ; Kloog Coull et al., 2012). Néanmoins, il reste parfois difficile de distinguer les deux types d'effets, beaucoup des effets à court terme se manifestant en présence d'affections chroniques qui sont elles-mêmes liées aux expositions à long terme (Zanobetti et al., 2004 ; Sun et al., 2010).

Les études écologiques géographiques, comme celle évoquée dans ce rapport, combinent des méthodes de l'épidémiologie, des statistiques et des systèmes d'information géographique (Goria et al., 2011). Dans ces études, les variables (indicateurs de santé, facteurs de risque et environnementaux) sont mesurées ou estimées à l'échelon d'unités géographiques. Des géolocalisations d'adresses sont mises en œuvre pour réaliser ce travail à l'échelle de ces unités.

1.2 Objectifs de l'étude

L'étude écologique géographique a été réalisée dans le but mettre en évidence des associations entre les variations géographiques des concentrations en polluants par quartier et celles des indicateurs sanitaires tels que la mortalité, les hospitalisations, les longues maladies et les médicaments pour asthme dans ces mêmes quartiers.

1.3 Période d'étude

L'étude est rétrospective et a porté sur une période de 5 ans, entre le 1^{er} janvier 2008 et le 31 décembre 2012.

1.4 Zone d'étude

La zone d'étude choisie comprend la commune de Nouméa et les quartiers urbanisés limitrophes des communes de Dumbéa et du Mont-Dore. Le choix de cette zone d'étude repose sur plusieurs critères : proximité des sources de pollution (trafic routier, usine SLN de Doniambo), urbanisation continue et forte concentration de population (selon les données du recensement de 2009 de l'ISEE, 78,4% de la population du Grand Nouméa réside dans la zone d'étude) (annexe 6.1).

La zone d'étude comprend donc 46 quartiers : les 36 quartiers qui composent la ville de Nouméa et une partie des communes de Dumbéa (quatre quartiers) et du Mont-Dore (six quartiers) (Figure 1).

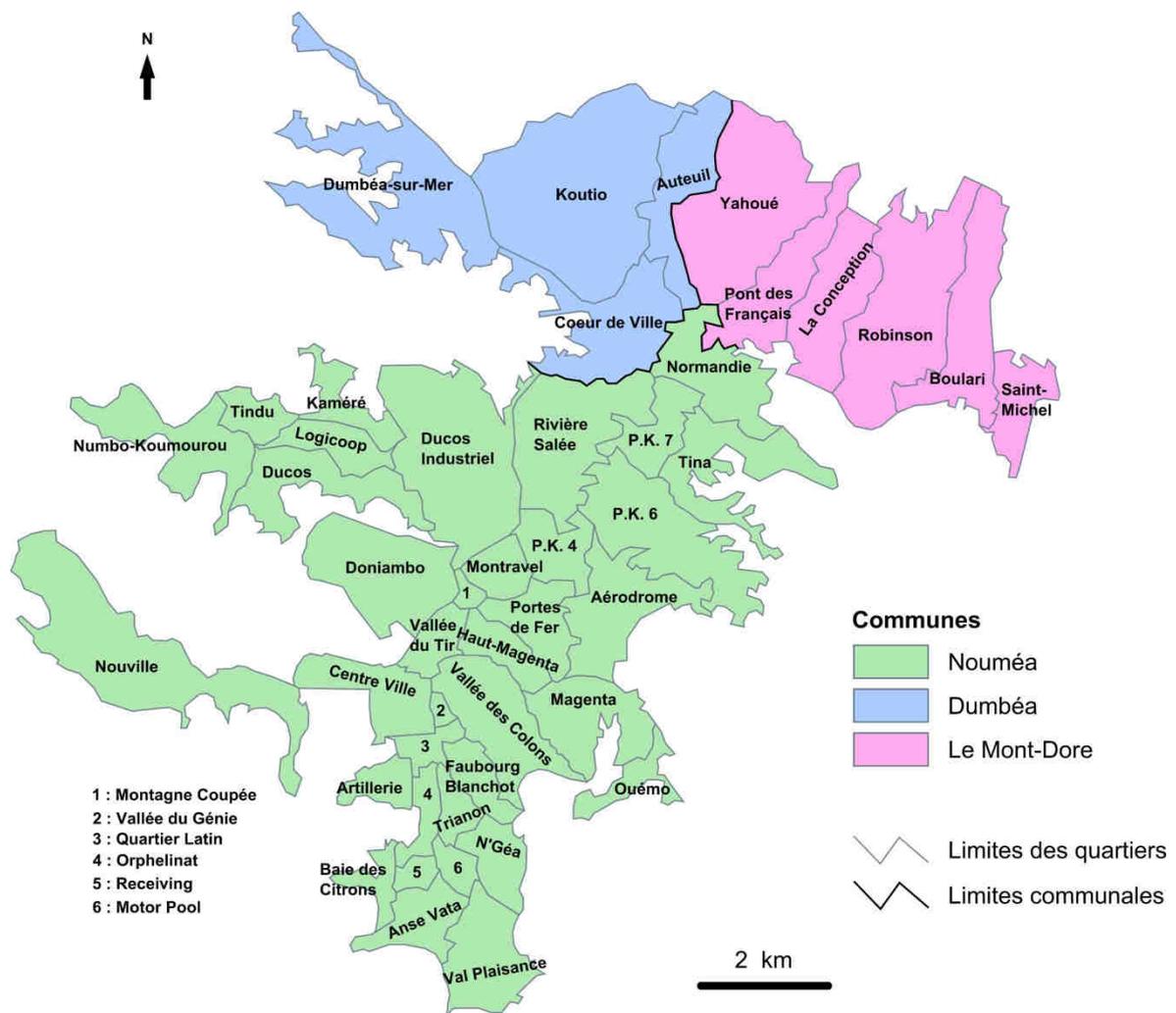


Figure 1 : Zone d'étude

2 MATERIEL ET METHODES

Ce chapitre aborde les points suivants :

- Les mesures de pollution réalisées sur la zone d'étude, les méthodes de spatialisation se basant sur la géostatistique (méthode de krigeage pour le NO₂) et la modélisation (ADMS-Urban pour le SO₂ et les PM10), et l'exploitation de ces données de pollution (calcul de moyennes sur les zones urbanisées de chaque quartier) ;
- La création d'un indice qui permet de synthétiser le niveau socioéconomique des quartiers et, plus précisément, de distinguer les quartiers défavorisés des quartiers aisés (ceci, car les événements de santé étudiés sont très influencés par le niveau socio-économique au niveau populationnel, ce qui doit être pris en compte dans l'analyse des effets de l'exposition) ;
- La présentation des différents indicateurs sanitaires (mortalité, hospitalisations, longues maladies et médicaments pour asthme) disponibles pour la zone d'étude. Ces indicateurs correspondent à des pathologies pouvant être liées à la pollution atmosphérique : maladies cardiovasculaires (toutes causes, infarctus, AVC), maladies respiratoires (toutes causes, asthme, infections respiratoires, bronchopneumopathies chroniques obstructives), cancer du poumon et délivrance de médicaments pour asthme ;
- Le mode de représentation cartographique des résultats de ces différents indicateurs à l'échelle des quartiers;
- Les méthodes statistiques employées pour analyser la relation entre pollution atmosphérique et indicateurs sanitaires : ratio standardisé de mortalité (SMR) et d'incidence d'hospitalisations et de délivrance de médicaments (SIR), régression de Poisson.

2.1 Spatialisation des différents polluants dans la zone d'étude

La spatialisation des polluants a été menée dans un premier temps par l'ASPA en coopération avec Scal-Air pour le NO₂ et le SO₂ via l'outil géostatistique, puis le bureau d'études Numtech est intervenu sur la modélisation du SO₂ et des PM10 via le modèle ADMS-Urban. Enfin Scal-Air a réactualisé les résultats pour les trois polluants à partir de ce même modèle. Les cartes de spatialisation des polluants obtenues sont présentées dans l'annexe 6.2.

2.1.1 Travaux de l'ASPA et présentation des données de NO₂

L'analyse exploratoire des données de mesure du dioxyde d'azote et du dioxyde de soufre, à l'aide du réseau permanent de mesures de Scal-Air mais également de tubes passifs sur l'agglomération de Nouméa (sur plusieurs années), avait fait ressortir des aspects de distribution spatiale caractéristiques pour chacun des polluants concernés et qui variaient selon les saisons fraîche et chaude (ASPA, 2012).

Deux options ont été retenues pour réaliser la reconstitution des moyennes spatialisées des concentrations en polluants :

- Une première reposant sur l'utilisation de l'outil géostatistique, via une technique de krigeage, pour les NO₂ et SO₂ (les résultats sur le SO₂ n'ont pas pu être exploités en raison d'une anticorrélation entre les variables auxiliaires (émissions, ...) et aussi parce que la répartition spatiale du SO₂ est fortement liée aux phénomènes de panache de pollution, phénomènes qui sont mal pris en compte par la méthode de modélisation géostatistique) ;

- Une seconde reposant sur l'utilisation du modèle gaussien de dispersion ADMS-Urban pour le SO₂, les PM10 et le NO₂ (les modélisations pour ce dernier polluant ont été réalisées dans le cadre de la phase de réactualisation des résultats, mais n'ont pas finalement pas été retenus, car les résultats obtenus avec la méthode de krigeage se sont avérés plus pertinent).

La mise en œuvre de ces outils a nécessité de disposer préalablement d'un cadastre d'émissions spatialisé sur le domaine d'étude. La réalisation par la DIMENC de l'inventaire des émissions sur l'ensemble du territoire de la Nouvelle-Calédonie avait été confiée au CITEPA. Cet inventaire a été achevé et transmis à la DIMENC au second semestre 2014. Dans cette optique, il était indispensable de constituer, en parallèle, une base de données décrivant les caractéristiques géographiques de la zone (occupation du sol, relief, types d'infrastructures urbaines et d'activités socioéconomiques...) (ASPA, 2013). Une version partiellement validée, centrée sur la zone d'étude de l'agglomération de Nouméa, a été mise à la disposition de l'ASPA en juin 2014 afin de pouvoir mener les travaux de spatialisation à l'aide de l'outil géostatistique dans les délais impartis. Cette spatialisation a été menée sur un domaine de 10 km × 10 km, correspondant à l'emprise de la zone d'étude.

Le détail des travaux réalisés par l'ASPA est contenu dans le rapport transmis en septembre 2014 (ASPA, 2014). En résumé, l'exploitation géostatistique entreprise a été menée à partir des séries de mesure par tubes passifs en dioxyde d'azote (NO₂) et dioxyde de soufre (SO₂) issues des campagnes temporaires réalisées par Scal-Air sur l'agglomération de Nouméa, successivement, durant les années 2009 à 2012. Ces séries ont été préalablement corrigées et standardisées selon un protocole relevant de l'application du système qualité en vigueur à l'ASPA, avant de faire l'objet d'un calcul et d'une reconstitution d'une moyenne annuelle portant sur cette période de quatre ans et pour l'ensemble des sites instrumentés. Ceci a pour but d'être en adéquation avec les critères de mise à disposition des indicateurs sanitaires.

La méthode de cartographie appliquée s'appuie sur des techniques géostatistiques qui utilisent les corrélations existantes entre les différentes variables auxiliaires prises en compte (émissions, altitude, occupation du sol, ...) et la variable des concentrations annuelles de chaque polluant suivi. Cette méthode présente entre autres l'avantage d'améliorer la précision de l'estimation spatiale. L'analyse des liens entre les variables auxiliaires et les concentrations moyennes annuelles des polluants a fait ressortir que l'élaboration d'un modèle cohérent de spatialisation à l'aide de l'outil géostatistique ne pouvait s'appliquer que pour le NO₂. La cartographie du SO₂ nécessite en revanche le recours à un modèle gaussien de type ADMS-Urban bien adapté à la prise en compte des phénomènes de panaches qui influencent fortement la répartition spatiale de ce polluant (essentiellement d'origine industrielle).

La cartographie des émissions en NO₂ produite repose sur la mise en œuvre d'un krigeage des mesures avec les émissions transformées Ln(Z+1) de NO_x en dérive externe. Le krigeage est une méthode d'interpolation spatiale (estimation de la valeur d'un point en fonction des observations voisines) qui s'appuie sur l'autocorrélation spatiale. L'objectif du krigeage est « d'identifier la distance optimale à l'intérieur de laquelle les points de mesure sont autocorrélés » (Joly et al., 2010). En définitive, cette distance optimale permet de répartir les points en deux sous-échantillons: l'un regroupant les points avec une organisation spatiale commune (en-deçà de la distance optimale) et l'autre, au-delà de cette distance optimale, regroupant ceux avec des variations spatiales aléatoires (Joly et al., 2010). Cette modélisation de la structure spatiale inhérente au krigeage a pour avantage, par rapport à des méthodes d'interpolation plus classiques, de permettre la quantification de

l'incertitude liée à l'estimation des concentrations (ASPA, 2014). Au final, grâce à la modélisation de la structure spatiale, le krigeage permet de quantifier l'incertitude associée à l'estimation, ce qui offre un avantage essentiel par rapport aux méthodes d'interpolation classiques (inverse de la distance, plus proches voisins, triangulation ...).

L'échelle de restitution des résultats a été calée sur la grille de résolution 200m x 200m des émissions élaborée sur la zone d'étude par le CITEPA suivant les besoins des travaux menés par les épidémiologistes. **Les résultats issus de cette cartographie ressortent, après intégration d'un facteur correctif de -30%, comme cohérents et les incertitudes associées demeurent acceptables.** Cet état de fait a d'ailleurs été confirmé par les retours de l'expérience terrain exprimés par le personnel de Scal-Air. La mise au format SIG de ces résultats en sortie du logiciel ISATIS facilite l'analyse des liens avec les indicateurs sanitaires dans le cadre de l'étude écologique, ainsi que la conduite des travaux de « validation terrain » effectuée par Scal-Air.

La base de données se présente sous la forme de 2 570 points qui correspondent, pour la majorité d'entre eux, aux centroïdes des mailles de la grille élaborée pour le CITEPA, les points restants étant, quant à eux, les centroïdes de mailles réparties tout le long du littoral de la zone d'étude. Les valeurs associées à chaque point sont celles de la maille correspondante. Les informations disponibles, identiques à celles présentées par l'ASPA dans leur rapport final (ASPA, 2014), sont les suivantes :

- Les coordonnées XY des points (système géodésique RGNC 91-93, projection Lambert Nouvelle-Calédonie) ;
- Les concentrations moyennes (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) modélisées en NO_2 (2009-2012) ;
- La part estimée de la superficie occupée par le bâti continu, le bâti discontinu et les zones industrielles et commerciales, calculée à partir des données du MOS 2010 développées par l'Observatoire de l'Environnement en Nouvelle-Calédonie (OEIL) et qui reprend la méthodologie des bases CORINE Land Cover (SIRS, 2012) ;
- L'estimation de la population à partir des données à l'ilot du recensement de 2009 issues de l'Institut de la Statistique et des Etudes Economiques (ISEE) ;
- L'altitude moyenne des mailles correspondantes calculées à partir des données du Modèle Numérique de Terrain (MNT) de la DIMENC.

2.1.2 Travaux de Scalair/Numtech et présentation des données de SO_2 et de PM_{10}

Le travail de Scalair/Numtech a nécessité au préalable des informations complémentaires à celles fournies par l'inventaire d'émissions du CITEPA. Il s'agit de données collectées par Scal-Air et la DIMENC concernant les principaux secteurs émetteurs. Le modèle de dispersion ADMS-Urban (v3.2) a permis de prendre en compte la dispersion simultanée de plusieurs polluants (NO_x , SO_2 , COV, particules..) émis par plus de 7 500 sources différentes telles que les routes et les trafics associés, les sources industrielles ponctuelles et les sources diffuses (Numtech, 2014a). La modélisation de base, mise en œuvre sur un domaine d'étude de 18,5 km (Est/Ouest) × 14 km (Nord/Sud), a été optimisée afin de mieux prendre en compte l'environnement de la zone d'étude avec les paramètres suivants : la pollution de fond issue des stations de Scal-Air, les paramètres de description de l'environnement (rugosité de surface, relief), la stabilité thermique minimale pour les conditions nocturnes et les paramètres météorologiques. Le calage du modèle a été effectué sur la base des mesures continues réalisées en 2008 et 2010, ainsi que sur les campagnes de mesures par tubes passifs réalisés par Scal-Air en 2010. En conclusion, les auteurs notent la bonne capacité du modèle à reproduire les concentrations de SO_2 sur l'agglomération de Nouméa, avec comme seule réserve une surestimation

Etude écologique géographique à Nouméa

des niveaux modélisés dans la zone de Montravel, située à proximité directe du principal émetteur de SO₂. Pour les PM10, la modélisation initialement réalisée a conduit à une surestimation des concentrations. Cette surestimation a été rectifiée par Numtech pour les années 2008 et 2010, et par Scal-Air pour les années 2009, 2011 et 2012.

La base de données comporte 29 213 points de modélisation répartis selon trois niveaux : un maillage de 200 m de résolution sur le domaine de calcul (i.e. l'agglomération de Nouméa), un maillage de 50 m de résolution dans un rayon de 500 m autour des principaux sites industriels (l'usine de Doniambo, le port de Numbo et le nord du quartier Ducos Industriel) et un ensemble de points répartis, tous les 20 m, sous forme de transects de quatre points de part et d'autre des principaux axes routiers et des sources maritimes linéiques. Les variables disponibles sont les suivantes :

- Les coordonnées XY des points (système géodésique RGNC 91-93, projection Lambert Nouvelle-Calédonie) ;
- Les concentrations moyennes (en µg/m³) modélisées en SO₂ et en PM10 détaillées pour chaque année de la période 2008-2012.

Contrairement aux valeurs de NO₂ qui correspondent aux moyennes des mailles dont les points sont les centroïdes, les concentrations en SO₂ et PM10, modélisées par ADMS-Urban, correspondent aux valeurs simulées propres aux points en lien avec leur localisation géographique.

2.1.3 Exploitation des données de pollution

L'un des principaux objectifs de cette étude est de mettre en relation les concentrations des différents polluants avec les données sanitaires à disposition. Pour cela il est nécessaire de calculer les concentrations moyennes pour les zones de bâti continu et discontinu, quartier par quartier. Les zones urbanisées correspondent à deux couches du MOS 2010, développé pour l'ensemble de la Nouvelle-Calédonie (SIRS, 2012) :

- Le tissu urbain continu (code 111) qui correspond à des « espaces structurés par des bâtiments. Les bâtiments, la voirie et les surfaces artificiellement recouvertes couvrent la quasi-totalité du sol. La végétation non linéaire et le sol nu sont exceptionnels » ;
- Le tissu urbain discontinu (code 112) qui correspond à des « espaces structurés par des bâtiments. Les bâtiments, la voirie et les surfaces artificiellement recouvertes coexistent avec des surfaces végétalisées et du sol nu, qui occupent de manière discontinue des surfaces non négligeables ».

La Figure 2 permet d'illustrer la répartition de ces zones urbanisées.

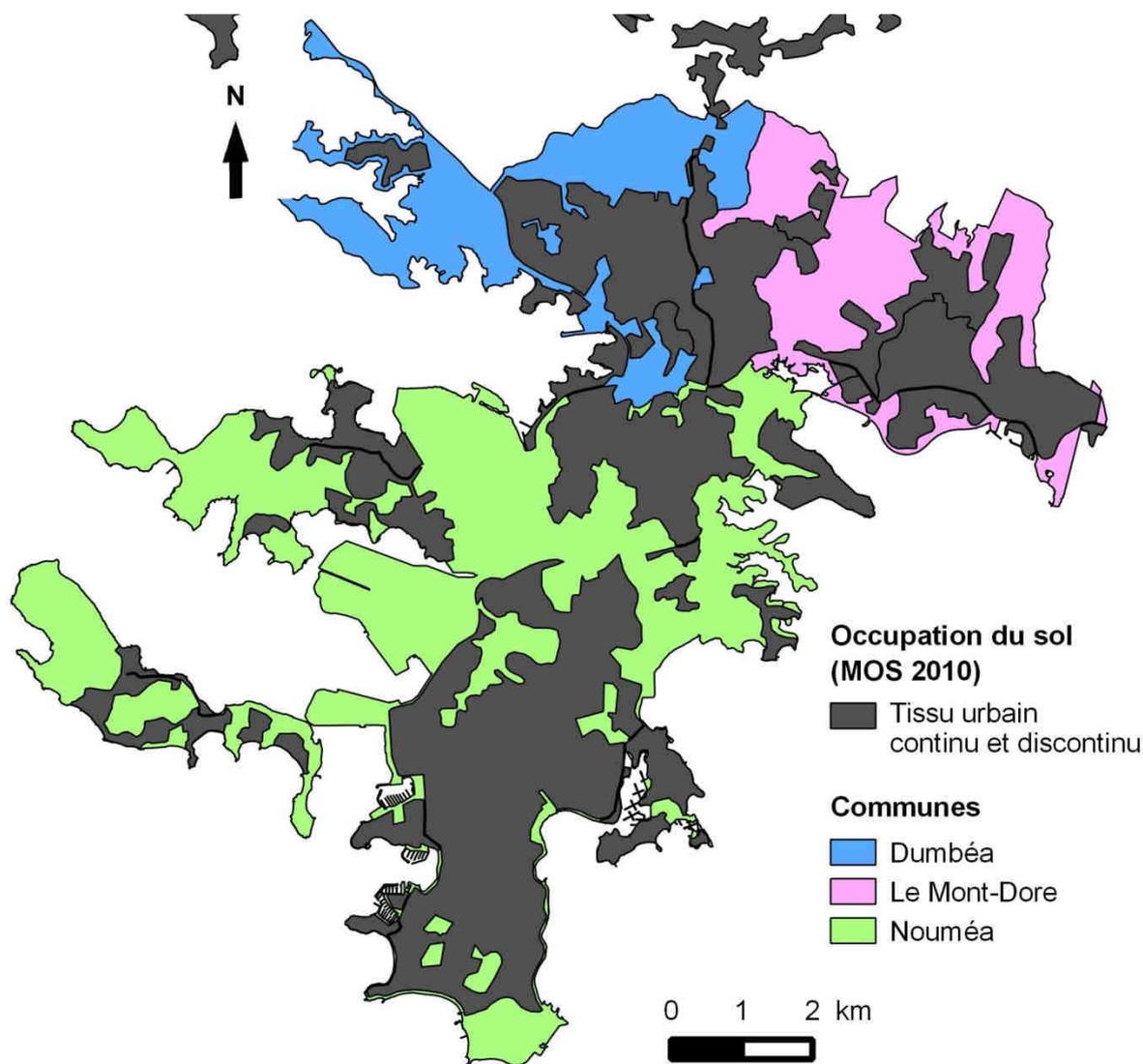


Figure 2 : Localisation du tissu urbain au sein de la zone d'étude

Notons que la photo-interprétation à l'origine de la base de données du MOS 2010 est réalisée à l'échelle 1/25 000^{ème} (1 cm = 250 m), et la surface minimale interprétable en 2010 est de 5 hectares (SIRS, 2012).

A partir des points des deux bases de données (issus de la géostatistique pour le NO₂ et de la modélisation pour les PM₁₀ et le SO₂), un maillage a été recréé à l'aide de polygones de Voronoï qui correspondent à la décomposition d'un espace métrique à deux dimensions à partir d'un ensemble d'objets discrets (i.e. les points dans le cas présent). A chaque polygone sont attribuées les caractéristiques du point correspondant.

A l'instar de ce qui a été réalisé pour l'Etang de Berre (InVS, 2011), le calcul des concentrations moyennes a été réalisé par la méthode de pondération par la surface : pour chaque zone urbanisée, au sein de son quartier d'appartenance, les concentrations moyennes de PM₁₀, de SO₂ et de NO₂ ont été estimées en calculant la moyenne des valeurs modélisées pondérée par la surface d'intersection des polygones de Voronoï avec les zones urbanisées.

Cette méthode directe de pondération par la surface n'a, cependant, pas pu être réalisée pour les deux quartiers suivants : Doniambo et Numbo-Koumourou. En effet, selon la base de données du MOS 2010, aucune surface occupée par du tissu urbain n'est enregistrée au sein de ces quartiers.

Cela démontre que dans le cas de figure de très petites zones urbanisées et/ou d'un habitat dispersé, cette base de données n'est pas adaptée. En conséquence, au sein de ces deux quartiers, les concentrations moyennes sont calculées à partir des mailles de la grille utilisée par l'ASPA présentant une part de tissu urbain non nulle. Cela consiste à estimer la surface des zones urbanisées au sein de chaque maille concernée en fonction du pourcentage de tissu urbain. Une fois cette opération réalisée, la méthode de pondération par la surface est appliquée.

La Figure 3 et le Tableau 1 permettent d'illustrer le mode de calcul des concentrations à travers l'exemple du dioxyde d'azote pour le quartier de Vallée du Génie.

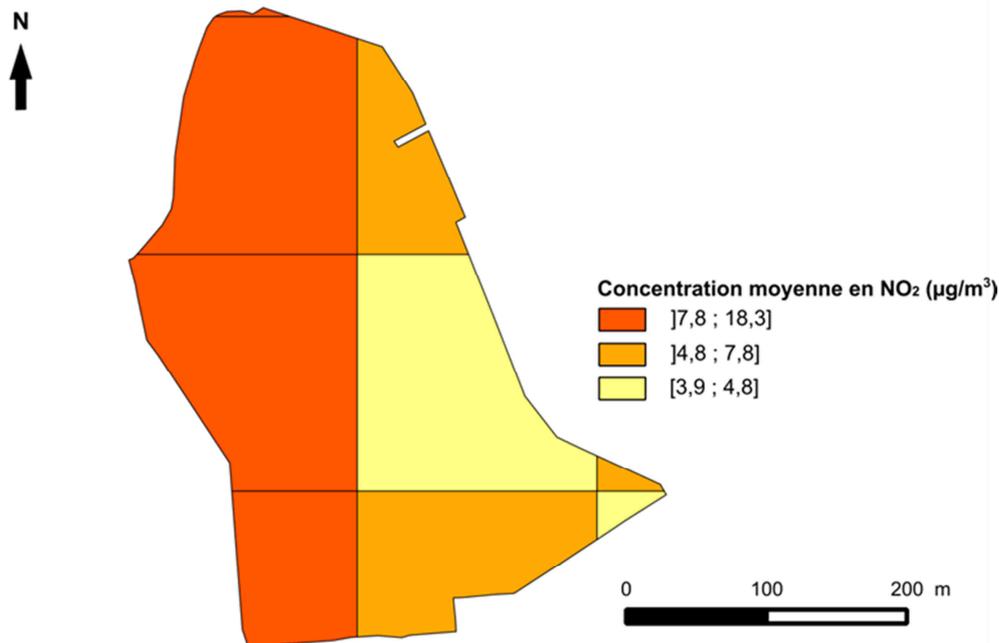


Figure 3 : Maillage des concentrations de NO₂ pour les zones urbanisées du quartier de Vallée du Génie

Polygones	Concentration (µg/m ³)	Superficie (m ²)	Concentration × Superficie
1	4,8	1 234	5 923,2
2	7,8	948	7 394,4
3	17,2	233	4 007,6
4	18,3	12 677	231 989,1
5	15,5	29 141	451 685,5
6	15,5	30 343	470 316,5
7	7,5	11 036	82 770
8	3,9	28 127	109 695,3
9	7,3	18 534	135 298,2
Total	$1\,499\,079,8 / 132\,273 =$ 11,3	132 273	1 499 079,8

Tableau 1 : Détail des calculs de la concentration moyenne en NO₂ pour les zones urbanisées du quartier de Vallée du Génie

2.2 Création d'un indice de défaveur socioéconomique

2.2.1 Justification de l'utilisation d'un indice de défaveur socioéconomique

L'impact des inégalités sociales (ou de la défaveur socioéconomique) sur la santé est largement documenté. La défaveur socioéconomique peut se traduire via différents indices synthétiques prenant en compte les dimensions matérielle et sociale de cette défaveur. Ces dimensions ont été définies par Townsend, Black et Davidson dans le cadre de l'un des rapports les plus précoces et les plus influents (Bell et al., 2007) sur le rôle des gradients sociaux sur la santé. Telle que définie dans ces travaux, la défaveur est, quant à elle, « un état de défaveur observable et démontrable par rapport à la communauté locale, la société au sens large ou la nation d'appartenance d'un individu, d'une famille ou d'un groupe » (Pampalon et al., 2009), état qui constitue, entre autres, le postulat de départ des indices mis au point au sein de chaque Etat britannique (McLennan et al., 2011 ; Payne et al., 2012). Une personne est alors considérée comme défavorisée si elle se situe en-dessous du niveau atteint par la majorité de la population, ou en-dessous d'un niveau jugé socialement acceptable (Pampalon et al., 2009).

La mise en œuvre d'un indice a pour objectif de donner une vision globale de la défaveur socioéconomique, notamment les inégalités entre les unités spatiales d'une zone d'étude donnée, synthétisant plusieurs variables pouvant traduire cette défaveur. Les indices sont nombreux, souvent spécifiques à la zone d'étude où ils sont appliqués, et relativement divers dans leur conception (variation du nombre d'indicateurs, application ou non de coefficients de pondération sur certains d'entre eux...) bien qu'une grande part d'entre eux soient construits à partir d'une Analyse en Composantes Principales (ACP). Dans le cadre de notre étude, il apparaît donc pertinent de créer un indice propre. Pour cela, nous nous basons sur les ACP en nous inspirant des procédures de mise en œuvre développées par l'Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique (EHESP) au sein de différents travaux (Havard et al., 2008 ; Padilla et al., 2011 ; Lalloué et al., 2013 ; Padilla et al., 2013).

2.2.2 Construction de l'indice à l'échelle de la zone d'étude

Les variables socioéconomiques sont issues du recensement de 2009 (pour mieux correspondre à la période de l'étude 2008-2012) et sont disponibles à l'échelle du quartier. A cause du caractère non-gaussien d'un certain nombre de variables, les ACP sont construites en fonction de coefficients de corrélation de rangs de Spearman.

La première étape de sélection pour la création de l'indice de défaveur s'est reposée sur un choix empirique des variables les plus adaptées pour la zone d'étude, choix qui s'est appuyé sur la revue de littérature réalisée sur cette thématique et sur des ACP dans le cas de figure de sous-groupes de variables très redondantes. Vingt-quatre variables sont sélectionnées au terme de cette étape.

La deuxième étape consiste à appliquer une nouvelle ACP sur les 24 variables. Celles qui sont sélectionnées sont les mieux corrélées à la 1^{ère} composante principale, plus précisément celles dont la contribution à la construction de cette composante est supérieure à la moyenne. Pour valider cette sélection, il est primordial que cet axe factoriel caractérise une situation de plus ou moins grande défaveur socioéconomique. Cette opération conduit à ne retenir que douze variables. Afin de réduire encore le nombre de variables, la 2^{ème} étape est de nouveau mise en œuvre, aboutissant à un total de sept variables.

La 3^{ème} et dernière étape consiste à mettre en œuvre une dernière ACP sur les sept variables restantes (Tableau 2). Les scores de la 1^{ère} composante principale de cette ultime ACP constituent les

valeurs de l'indice de défaveur socioéconomique.

Variables	Coefficients de corrélation sur la 1 ^{ère} CP
% d'ouvriers dans la population active occupée de 25 ans ou plus	0,99
% de sans diplôme dans la population de 15 ans ou plus	0,96
% de population au chômage dans la population active de 15 ans ou plus	0,95
% de cadres dans la population active occupée de 25 ans ou plus	- 0,95
% de la population des ménages équipée de la climatisation	- 0,97
% de la population de 15 ans ou plus non scolarisée ayant un niveau d'étude universitaire	- 0,98
% de la population des ménages équipée d'internet	- 0,99

Tableau 2 : Détails de l'indice de défaveur socioéconomique

Les corrélations (Tableau 2) permettent de décrire les scores des quartiers de la zone d'étude. Les quartiers associés à des scores positifs (négatifs) présentent une forte (faible) proportion d'ouvriers, de population sans diplôme et de chômeurs et une faible (forte) proportion de cadres, de ménages équipés de la climatisation et d'internet et de diplômés du supérieur. Toutes ces caractéristiques traduisent un niveau élevé (faible niveau) de défaveur socioéconomique.

2.3 Indicateurs sanitaires et géo-référencement des adresses

Dans cette étude, le but est d'analyser quatre indicateurs différents : la mortalité, les hospitalisations, la consommation médicamenteuse pour l'asthme et les longues maladies (LM). Ces différents indicateurs ont été mis à disposition sous la forme de fichiers Excel pour les années 2008 à 2012 par différents organismes : la DASS pour les données de mortalité, le Département d'Information Médicale (DIM) du CHT de Nouméa pour celles d'hospitalisations, et la CAFAT pour les données de pharmacie et de LM. Ces fichiers ont fait l'objet d'un très important travail de géo-référencement afin de compléter et/ou de corriger le quartier d'appartenance pour un nombre important d'adresses, notamment pour retrouver la localisation des squats. Ce travail a été réalisé manuellement à l'aide, principalement, des supports suivants :

- Le plan interactif de la Ville de Nouméa : <http://carto.noumea.nc/portail/>
- Les plans et les index des rues de l'Office des Postes et Télécommunications (OPT)
- Des documents portant sur des permis de construire ou sur les adresses associées à des bureaux de vote
- Google Maps
- Le travail de terrain réalisé par la DASS auprès des trois mairies (Nouméa, Dumbéa et Le Mont-Dore) et des facteurs de l'agglomération.

Malgré ce travail, de nombreuses lacunes, essentiellement au sein des fichiers LM et pharmacie de la CAFAT, n'ont pu être corrigées du fait de l'absence d'indications précises sur la localisation

Etude écologique géographique à Nouméa

géographique des assurés et/ou des patients : seule la commune de résidence, avec la boîte postale dans un certain nombre de cas, était renseignée.

La part des observations exclues présentée pour chaque indicateur permet d'apprécier le niveau de lacunes des fichiers. Cependant, il faut préciser que ces valeurs ne constituent que des estimations « hautes » de la part réelle de données manquantes ou inexploitable. En effet, un certain nombre de quartiers de Dumbéa et du Mont-Dore n'ont pas été intégrés dans la zone d'étude, or il est très probable qu'une partie des données lacunaires comptabilisées pour ces deux communes correspondent à des adresses hors zone d'étude (i.e. les quartiers de Dumbéa et du Mont-Dore non inclus). Cela a pour conséquence de « gonfler » les effectifs de données lacunaires sur l'ensemble de la zone d'étude. Par conséquent, les taux présentés ci-après sont probablement surestimés par rapport à la réalité.

2.3.1 Mortalité

Sont concernées les personnes décédées, résidentes dans la zone d'étude, adultes et/ou enfants, caractérisées selon leurs causes de décès (Tableau 3). Après le retrait des observations hors zone d'étude et malgré le travail de géo-référencement opéré, 16,4% des observations ont dû être exclues à cause d'adresses manquantes et/ou insuffisantes. Par pathologie, les résultats sont les suivants :

- Décès toutes causes cardiovasculaires : 64 décès exclus (13,6% du total) ;
- Décès toutes causes respiratoires : 26 décès exclus (19,4% du total) ;
- Décès par cancer du poumon : 21 décès exclus (13,0% du total) ;
- Mortalité périnatale : 20 décès exclus (55,6% du total).

Pathologies cardiovasculaires	I00 à I99 en DP (Adultes)
Pathologies cardiaques	I00 à I52 en DP
Cardiopathies ischémiques	I20 à I24 en DP
Infarctus du myocarde	I21 à I22 en DP
Accidents vasculaires cérébraux (AVC)	I60 à I64 et G45 à G46 en DP
Pathologies respiratoires	J00 à J99 en DP (Enfants et Adultes)
Infections respiratoires	J04 à J06, J10 à J18 et J20 à J22 en DP
Pneumopathies	J10 à J18 en DP
Asthme	J45 à J46 en DP
Bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO)	J41 à J44 en DP
Cancer primitif bronches et poumon	C33 à C34 en DP (Adultes)
Décès toutes causes (hors accidentelles) pour les moins de 1 an (mortalité périnatale)	A00 à R99

Tableau 3 : détails et codes CIM des causes de mortalité (DP = Diagnostic Principal)

Trois causes de mortalité ont été étudiées : toutes causes cardiovasculaires, toutes causes respiratoires et cancer du poumon. L'analyse de la mortalité par cause spécifique d'intérêt (infarctus du myocarde, AVC, infections respiratoires, asthme et BPCO) et de la mortalité périnatale n'a pu être effectuée, en raison des trop faibles effectifs.

2.3.2 Hospitalisations

Sont concernées les personnes résidant dans la zone d'étude, adultes et/ou enfants selon la cause d'hospitalisation. A noter, qu'en cas de séjours multiples, seul le premier séjour de chaque année, pour un diagnostic principal (DP) donné, a été retenu. En d'autres termes, un individu peut être

concerné par plusieurs hospitalisations sur l'ensemble de la période, mais par une seule, au maximum, par an.

La part d'observations exclues, faute d'informations pouvant aider à localiser les adresses, n'est que de 3,1%.

Par pathologie, les résultats sont les suivants :

- Toutes causes cardiovasculaires : 173 hospitalisations exclues (3,3% du total) ;
- Toutes causes respiratoires : 127 hospitalisations exclues (2,8% du total).

Pathologies cardiovasculaires	I00 à I99 en DP (Adultes)
Infarctus du myocarde	I21 à I22 en DP
Accidents vasculaires cérébraux (AVC)	I60 à I64 et G45 à G46 en DP
Pathologies respiratoires	J00 à J99 en DP (Enfants et Adultes)
Infections respiratoires	J04 à J06, J10 à J18 et J10 à J22 en DP
Asthme	J45 à J46 en DP
Bronchopneumopathie chronique obstructive	J41 à J44 en DP

Tableau 4 : Détails et codes CIM des causes d'hospitalisations (DP = Diagnostic Principal)

Les analyses ont été menées pour les hospitalisations toutes causes cardiovasculaires et toutes causes respiratoires et pour les causes spécifiques : infarctus du myocarde, troubles du rythme et AVC d'une part, et infections respiratoires, asthme et BPCO.

2.3.3 Longues Maladies

Sont concernées les personnes résidentes dans la zone d'étude et développant une des quatre longues maladies retenues (accident vasculaire cérébral, asthme, infarctus et insuffisance respiratoire) pendant la période d'étude.

Malgré le travail de géo-référencement opéré, de très nombreuses observations des fichiers initiaux ont dû être exclues à cause d'adresses manquantes et/ou insuffisantes. Par pathologie, les nombres d'exclusion sont les suivants :

- Accident vasculaire cérébral : 46 exclus (16 avec adresse) ;
- Asthme : 1 373 exclus (278 avec adresse) ;
- Infarctus : 144 exclus (56 avec adresse) ;
- Insuffisance respiratoire : 114 exclus (25 avec adresse).

Les effectifs étaient d'emblée insuffisants pour trois pathologies : AVC, infarctus et insuffisance respiratoire. Etant donné le pourcentage important de données exclues pour l'asthme (83%), possiblement de façon non proportionnelle suivant les quartiers, il n'a pas semblé pertinent de réaliser des analyses sur ces données. Seule une description de ces dernières a été faite.

2.3.4 Médicaments pour asthme

Sont concernées les personnes résidentes dans la zone d'étude et ayant eu une prescription de médicaments antiasthmatiques de code R3A4 de l'« European Pharmaceutical Market Research Association Nomenclature » pendant la période d'étude. Dans le cas présent, contrairement aux hospitalisations, une personne peut être concernée par plusieurs prescriptions par an.

Malgré le travail de géo-référencement opéré, de très nombreuses observations des fichiers initiaux ont dû être exclues à cause d'adresses manquantes et/ou insuffisantes.

49 910 observations sont exclues, et il reste 25 664 observations pour lesquelles l'adresse est connue et exploitable. L'analyse de cet indicateur a été réalisée, mais doit être interprétée avec précaution puisque 66% des données sont exclues, avec possiblement de plus ou moins fortes exclusions dans certains quartiers.

2.4 Méthodes statistiques

L'ensemble des analyses ont été réalisées sous le logiciel SAS® avec un risque de première espèce α de 5% ($p < 0,05$) En d'autres termes, les résultats statistiques sont interprétés avec un risque d'erreur de 5%.

2.4.1 Analyses descriptives

La description des distributions des variables qualitatives est effectuée en calculant les effectifs et pourcentages, et celle des variables quantitatives à partir des moyennes, écart-type, minimum et maximum.

2.4.2 Taux standardisés

L'objectif est de construire des indicateurs de santé par quartier, standardisés par rapport à leur moyenne dans l'ensemble de la zone d'étude, SMR pour les données de mortalité et SIR pour les hospitalisations, puis de les cartographier.

Calcul des SMR

Le ratio standardisé de mortalité (SMR pour *Standardized Mortality Ratio*) permet de comparer le nombre de décès observés, pour une cause donnée, dans un quartier ou une zone d'étude à celui que l'on attendrait si le taux de mortalité de ce quartier était identique, par âge et sexe, à celui d'une population de référence (ici le taux de mortalité dans l'ensemble des 46 quartiers étudiés). Les SMR sont décrits dans tous les quartiers de la zone d'étude, permettant de dresser un état des lieux de la santé de la population.

Le calcul des SMR par quartier se réalise de la manière suivante :

$$SMR = O/A$$

O : nombre de décès observés dans un quartier – *A* : nombre de décès attendus dans un quartier

Le nombre de décès attendus correspond au taux de mortalité de la zone d'étude, par âge et sexe, appliqué à la structure par âge et par sexe du quartier concerné.

$$A_{\text{âge-sexe}} = PC_{\text{âge-sexe}} * Ti_{\text{zone d'étude-âge-sexe}}$$

$A_{\text{âge-sexe}}$: Nombre de décès attendus dans le quartier pour une classe d'âge et un sexe donnés

$PC_{\text{âge-sexe}}$: Population dans le quartier pour une classe d'âge et un sexe donnés

$Ti_{\text{zone d'étude-âge-sexe}}$: Taux de mortalité dans la zone d'étude qui correspond au nombre total de décès enregistrés divisé par la population totale de cette zone pour une classe d'âge et un sexe donnés.

$$A = \sum A_{\text{âge-sexe}}$$

Si le SMR vaut 1, la mortalité du quartier ne diffère pas de celle de la zone d'étude.

S'il est inférieur à 1, la mortalité est plus faible que celle de la zone d'étude.

S'il est supérieur à 1, la mortalité est plus forte que celle de la zone d'étude.

L'intervalle de confiance à 95% du SMR est calculé de manière exacte (Liddell, 1984). Le test est significatif si la valeur 1 de SMR n'est pas incluse dans l'intervalle de confiance. En d'autres termes, si le SMR et les bornes de l'intervalle de confiance d'un quartier sont toutes supérieures (inférieures) à 1, il est possible d'affirmer que le SMR associé est significativement plus élevé (plus faible) que celui de la zone d'étude.

Calcul des SIR

Le calcul du ratio d'incidence standardisé (SIR pour *Standardized Incidence Ratio*) pour les hospitalisations et la délivrance de médicaments est sensiblement identique à celui des SMR pour la mortalité.

Cependant, une légère différence existe entre ces deux méthodes. Pour les SMR, un événement (un décès) est unique, c'est à dire qu'un individu ne peut être associé qu'à un de ces événements, alors qu'une hospitalisation ou une délivrance de médicaments peut survenir plusieurs fois pour une même personne. Par exemple, un taux d'hospitalisation par classe d'âge et sexe dans la zone d'étude représente le risque d'hospitalisations d'un individu de la zone d'étude pour un âge et un sexe donnés. Le SIR compare ainsi le nombre d'hospitalisations observées (ou de délivrances de médicaments), pour une cause donnée, dans un quartier ou une zone d'étude à celui que l'on attendrait si le taux d'hospitalisation (ou le taux de délivrance de médicaments) de ce quartier ou de cette zone était identique, par âge et sexe, à celui de l'ensemble de la zone d'étude.

2.4.3 Corrélations entre variables

Des corrélations ont été recherchées entre les polluants entre eux, entre les polluants et l'indice de défaveur, ainsi qu'entre les indicateurs sanitaires (SMR ou SIR) et les polluants d'une part et l'indice de défaveur d'autre part.

Une corrélation entre deux variables permet d'indiquer si elles évoluent dans le même sens (corrélation positive) ou en sens inverse (corrélation négative) ou sont indépendantes l'une de l'autre (corrélation proche de zéro). La valeur d'une corrélation peut varier de -1 à 1. On considère qu'une corrélation est forte si sa valeur absolue est supérieure de 0,8, moyenne entre 0,6 et 0,8 et faible entre 0,4 et 0,6. La probabilité « p » associée à cette corrélation est peu informative car elle est très dépendante des effectifs ayant servi au calcul. Dans cette étude, des corrélations de rangs de Spearman ont été calculées pour tenir compte de la distribution non gaussienne des variables.

2.4.4 Méthodologie et outils cartographiques

Cartographie des variables

Les différentes cartes sont réalisées à l'aide des logiciels Philcarto (v 5.66) et QGIS (v 2.0.1), et retravaillées via le logiciel de dessin Inkscape (v 0.48.2).

L'unité géographique de référence, pour la construction des cartes, est le quartier car il s'agit de l'échelle spatiale de disponibilité des données sanitaires. Par conséquent, c'est cette échelle géographique qui est employée pour les données de pollution atmosphérique et les indicateurs socioéconomiques.

Représentation graphique de la défaveur, des polluants et du % de tissu urbain

La représentation cartographique de l'indice de défaveur et de la pollution atmosphérique a été réalisée en cinq classes grâce à l'algorithme de Jenks (Jenks, 1967) qui permet, par l'intermédiaire

Etude écologique géographique à Nouméa

d'une procédure itérative, de maximiser la variance interclasse et de minimiser la variance intra-classe. En d'autres termes, cet algorithme permet de déterminer des classes statistiquement différentes les unes des autres, et dont les individus statistiques (ici les différents quartiers de la zone d'étude) qui les constituent sont les plus semblables possibles.

Cette méthode s'écrit de la manière suivante :

$$\text{Var}_{\text{totale}} = \text{Var}_{\text{intra}} + \text{Var}_{\text{inter}} \text{ où la } \text{Var}_{\text{intra}} = \sum \text{Var}_{\text{classe } i} \text{ avec } \{i = 1 ; 2 \dots ; \text{Nbcl}\}$$

Représentation graphique des SMR et SIR

Dans le cas présent, l'objectif est de pouvoir comparer les SIR et les SMR graphiquement entre les quartiers de la zone d'étude. Cela implique d'avoir des bornes de classes identiques, condition qui ne peut pas être remplie via l'utilisation d'un algorithme de Jenks. Par conséquent les bornes de classes des SMR et des SIR ont été préalablement définies afin de cartographier les excès et les déficits par rapport à l'ensemble de la zone. Ces bornes sont les suivantes : <0,90 ; 0,90-1,10 ; >1,10. A titre d'information supplémentaire, la significativité de ces SMR et SIR est indiquée, mais rappelons que celle-ci est très liée aux effectifs.

Recherche de l'autocorrélation spatiale (indice de Moran)

L'indice de Moran permet de rechercher s'il existe une autocorrélation spatiale entre les SMR ou SIR des différents quartiers de la zone d'étude, c'est-à-dire à savoir si les indicateurs de santé dans des quartiers limitrophes ont plus tendance à se ressembler, que des indicateurs de quartiers éloignés. Si cette autocorrélation spatiale existe, elle peut « biaiser » les résultats et doit être prise en compte dans les modèles cherchant à mettre en lien pollution et indicateurs sanitaires.

L'indice de Moran s'écrit de la manière suivante :

$$I = \frac{N}{\sum_i \sum_j w_{ij}} \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{\sum_i (X_i - \bar{X})^2}$$

avec :

X_i et X_j : les valeurs de l'indicateur considéré dans les unités géographiques i et j appartenant à la zone d'étude

\bar{X} : la moyenne des X_i de la zone d'étude

N : le nombre d'unités géographiques de la zone d'étude

w_{ij} : une matrice de poids positifs, carrée de dimension N, caractérisant l'influence des unités géographiques i et j l'une sur l'autre.

Un indice proche de zéro indique un modèle spatial aléatoire, alors qu'un indice positif (maximum de 1) montre une corrélation plus importante entre les quartiers proches les uns des autres.

2.4.5 Evaluation des relations entre polluants et indicateurs de santé

La régression de Poisson (Breslow et Day, 1987) permet de calculer des risques relatifs de mortalité en ajustant sur différents facteurs de confusion (modèle multivarié). Il permet, dans le cadre de cette étude, d'évaluer l'effet de l'exposition à la pollution sur la mortalité en tenant compte de l'indice de défaveur socioéconomique.

La variable à expliquer est une variable de comptage, comme par exemple le nombre de décès dans un quartier. Elle ne prend que des valeurs entières et positives. La formule théorique à partir de

Etude écologique géographique à Nouméa

laquelle sont calculées les probabilités de comptage est caractérisée par un seul paramètre noté λ qui correspond à la moyenne théorique d'une distribution de Poisson. Notons que, classiquement, λ représente également la variance de cette distribution (moyenne=variance), mais en cas d'une éventuelle surdispersion du modèle (variance supérieure à la moyenne), celle-ci doit être prise en compte en corrigeant la variance proportionnellement à la surdispersion. Par ailleurs, il peut exister une autocorrélation spatiale des SMR ou SIR liée à la proximité plus ou moins importante des quartiers entre eux (cf. paragraphe 2.4.4). Dans le modèle de Poisson, l'ajout d'une matrice spatiale ($sp(exp)$), tenant compte des distances entre les centroïdes de chaque quartier, permet de prendre en compte cette autocorrélation.

Deux étapes sont nécessaires dans la mise en œuvre du modèle de Poisson :

- Des modèles univariés ont d'abord été réalisés avec le polluant comme seule variable explicative de l'indicateur sanitaire (mortalité, hospitalisation ou délivrance de médicaments) et donc sans ajustement sur l'indice de défaveur. Ces modèles seront présentés à titre indicatifs dans l'annexe 6.9, car ne prenant pas en compte la confusion liée à la défaveur.

L'équation du modèle de Poisson s'écrit dans ce cas de la manière suivante :

$$\ln(y) = \alpha + \beta_1 \text{polluant} + \ln(a)$$

y : représente le nombre de cas de décès ou d'hospitalisation ou de consommation médicamenteuse par quartier pour une cause donnée sur une période donnée ;

polluant : le polluant choisi comme variable expliquant l'effet sanitaire ;

β_1 : le coefficient de régression associé au polluant ;

ln(a) : le logarithme népérien du nombre de décès attendus (ou d'hospitalisations ou de délivrances de médicaments) par quartier (comme calculé pour les SMR ou SIR). Il s'agit de l'offset du modèle.

L'équation peut donc aussi s'écrire sous la forme suivante :

$$\ln(SMR) = \ln(y/a) = \alpha + \beta_1 \text{polluant}$$

Les paramètres du modèle de Poisson peuvent être exprimés en termes de risques relatifs (RR) :

$$RR = \exp(\beta)$$

- Des modèles bivariés, introduisant dans le modèle précédent l'indice de défaveur comme variable de confusion, ont ensuite été réalisés afin d'obtenir la relation non biaisée entre le polluant et l'indicateur de santé, ajusté sur la défaveur. A noter que ces modèles permettent en retour de connaître la relation non biaisée entre la défaveur et l'indicateur de santé, ajusté sur le polluant.

La recherche d'une interaction dans le modèle entre les deux variables explicatives (polluant et défaveur) a été préalablement testée avec le modèle suivant :

$$\ln(SMR) = \ln(y/a) = \alpha + \beta_1 \text{polluant} + \beta_2 \text{IDD} + \beta_3 (\text{polluant} * \text{IDD})$$

IDD : l'indice de défaveur comme variable de confusion

β_2 : le coefficient de régression associé à l'indice de défaveur

polluant * IDD : interaction entre le polluant et l'indice de défaveur

β_3 : le coefficient de régression associé à l'interaction

- Si le terme d'interaction (polluant * IDD) n'est pas significatif, il n'est pas gardé dans le modèle. Celui-ci s'écrit alors sous la forme suivante :

$$\ln(SMR) = \ln(y/a) = \alpha + \beta_1 \text{polluant} + \beta_2 \text{IDD}$$

- Si le terme d'interaction est significatif, l'interaction entre polluant et défaveur est prise en compte de la façon suivante : les quartiers sont classés en 3 classes selon l'indice de défaveur (avec regroupement à partir des cinq classes initiales définies par l'algorithme de Jenks des deux classes les plus défavorisées et des deux classes les plus favorisées). On obtient alors un risque relatif entre le polluant et l'indicateur de santé dans chacune des trois classes de défaveur. Le modèle s'écrit alors sous la forme suivante :

$$\ln(SMR) = \ln(y/a) = \alpha + \beta_1 \text{polluant} + \beta_{2c} \text{IDD_3classes} + \beta_{3c} (\text{polluant} * \text{IDD_3classes})$$

$\beta_1 + \beta_{3c}$: le coefficient de régression du polluant dans chacune des trois classes « c » de défaveur

L'interprétation des risques relatifs obtenus est la suivante : un RR plus grand que 1 indique que le taux de mortalité ou d'hospitalisation ou de délivrance de médicaments augmente quand la variable explicative (pollution, indice de défaveur) augmente, alors qu'un RR plus petit que 1 indique que le taux de mortalité ou d'hospitalisation ou de délivrance de médicaments diminue quand la variable explicative (pollution, indice de défaveur) augmente. La probabilité « p » associée à ce RR indique que celui-ci est considéré comme significatif si p est inférieur à 0,05, soit un risque d'erreur inférieur à 5 % (en d'autres termes, cela revient à dire qu'il y a moins de 5 % de chance de se tromper en affirmant que le RR est significatif).

3 RESULTATS

3.1 Résultats descriptifs

3.1.1 Indicateurs de pollution

Plus de deux tiers du territoire de la zone d'étude (68,8% précisément) est occupé par du tissu urbain continu ou discontinu, avec une forte variabilité d'un quartier à l'autre comme cela peut-être constaté à travers la discrétisation en cinq classes, via l'algorithme de Jenks, présentée dans la Figure 4. La part de zones urbanisées s'étend ainsi de 17,8% à Numbo-Koumourou (valeur estimée, comme pour Doniambo, à partir du maillage réalisée par l'ASPA), à 100% pour les quartiers de Motor Pool, Trianon et Vallée du Génie, tous situés dans la moitié Sud de la presqu'île.

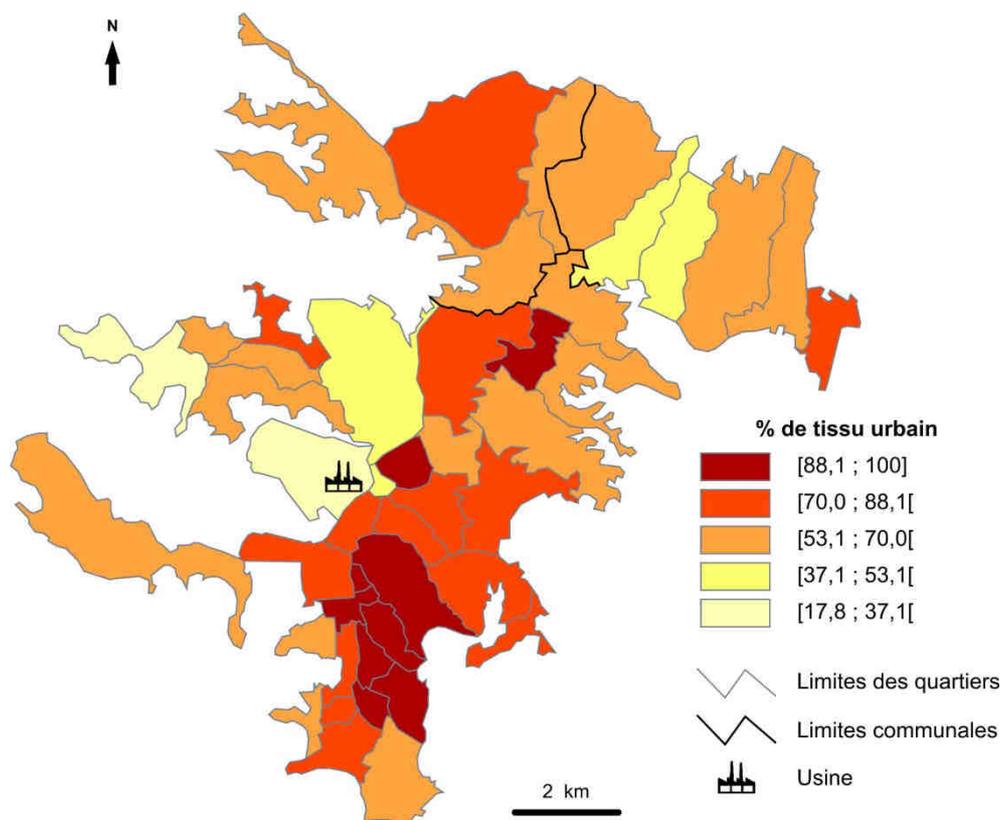


Figure 4 : Part de tissu urbain continu et discontinu au sein des quartiers de la zone d'étude

Polluants	Moyenne pondérée ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Médiane ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Minimum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) avec nom du quartier	Maximum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) avec nom du quartier	Objectif de qualité en moyenne annuelle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
NO ₂ (2009-2012)	10,8	10,6	5,2 (Tindu)	21,8 (Centre Ville)	40
SO ₂ (2008-2012)	2,9	1,9	0,6 (Motor Pool)	19,8 (Numbo-Koumourou)	50
PM10 (2008-2012)	9,9	9,7	3,7 (Dumbéa-sur-Mer)	17,0 (Trianon)	30

Tableau 5 : Principales caractéristiques des polluants sur la zone d'étude

Le Tableau 5 récapitule les caractéristiques des polluants pour le tissu urbain, continu et discontinu, de la zone d'étude. Précisons que la moyenne est calculée à partir des concentrations moyennes des territoires urbanisés de chaque quartier, pondérées par la superficie de ces zones urbanisées. La médiane correspond à la valeur qui sépare 50% des territoires urbanisés de la zone d'étude des 50% restants.

Une forte variabilité des concentrations moyennes de chaque polluant d'un quartier à l'autre est constatée. Néanmoins, ces concentrations restent faibles, surtout comparées aux valeurs réglementaires métropolitaines.

En effet, pour le dioxyde d'azote, aucun des polygones de Voronoï inclus (entièrement ou partiellement) au sein des territoires urbanisés de la zone d'étude, n'enregistre une concentration supérieure à la valeur limite (qui est aussi l'objectif de qualité) de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle. La concentration la plus élevée ($29,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$) est relevée au sein d'un polygone situé à Quartier Latin.

En ce qui concerne le SO_2 , dont l'objectif de qualité est de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle, aucun dépassement n'est constaté ; la concentration la plus élevée, relevée à l'échelle d'un polygone, étant de $26,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans le quartier de Ducos.

L'objectif de qualité pour les PM_{10} est de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la valeur limite), soit un seuil nettement supérieur à la concentration moyenne la plus élevée par quartier. Seuls deux polygones « urbains », situés à Nouville, enregistrent des concentrations supérieures à l'objectif de qualité ($30,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $32,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Les cartes suivantes (Figure 5, Figure 6, Figure 7) illustrent les concentrations des moyennes annuelles pondérées des trois polluants par quartier à l'aide d'une discrétisation en cinq classes réalisée à partir de l'algorithme de Jenks.

Carte des concentrations en NO_2

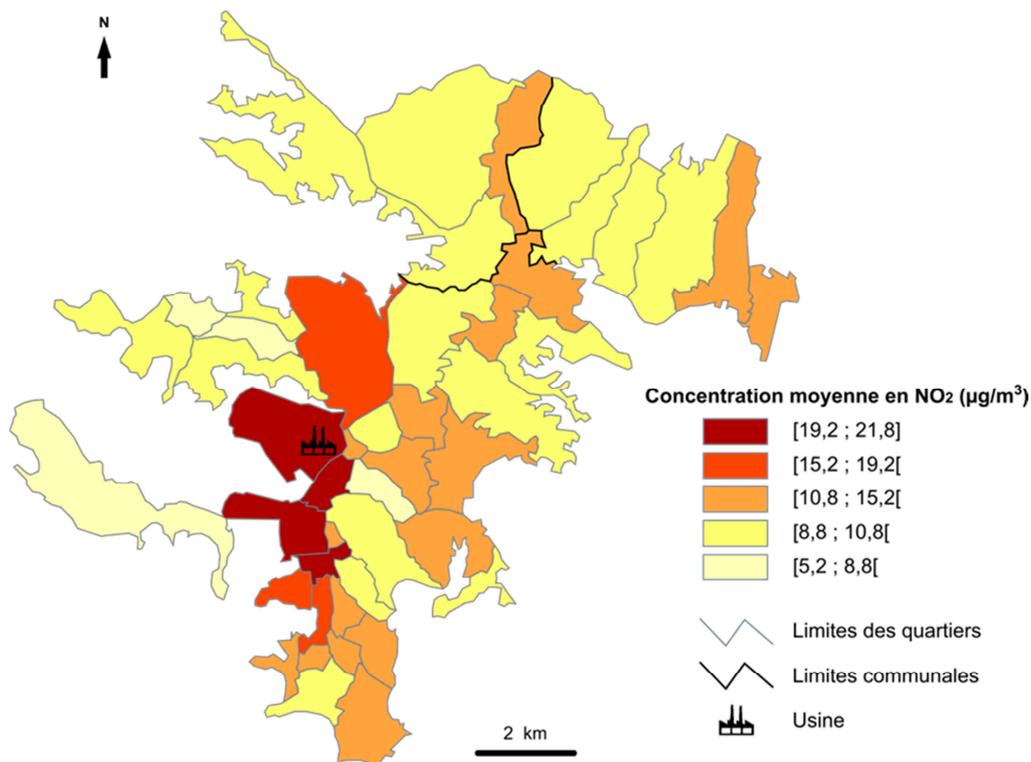


Figure 5 : Concentration moyenne en NO_2 (2009-2012) des zones urbanisées à l'échelle des quartiers

La pollution en NO₂ se concentre principalement dans le quartier de Doniambo, et immédiatement au sud et au nord de celui-ci le long de la façade ouest de la presqu'île. Les résultats de la Figure 5 corroborent, en termes de résolution spatiale, ceux de la carte des concentrations à l'échelle des mailles de la grille CITEPA (ASPA, 2014). Les quartiers concernés par des zones industrielles (Doniambo, Ducos Industriel) et par le passage d'axes routiers à fort trafic, dont la voie express n°1 (de Ducos Industriel au Nord à Quartier Latin au Sud), enregistrent les plus fortes concentrations. D'autres quartiers, en rapport avec d'autres grands axes de circulation, sont également touchés mais de façon moins marquée.

Carte des concentrations en SO₂

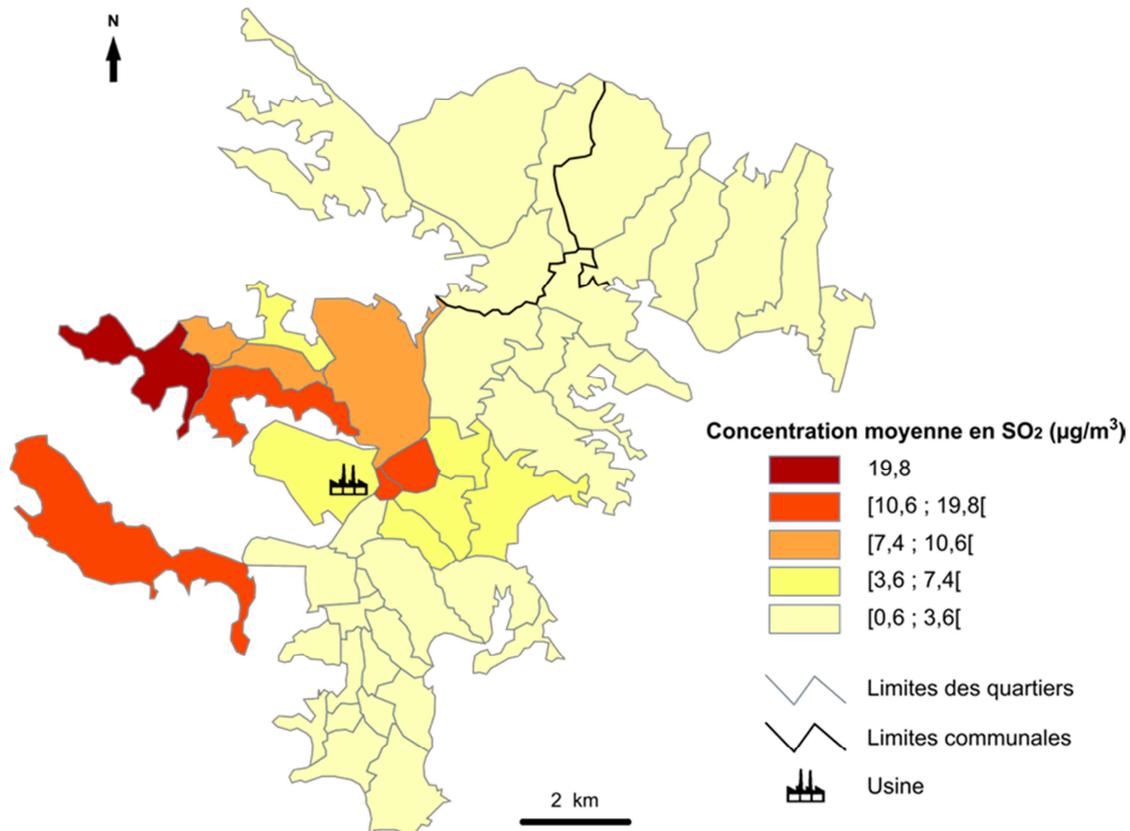


Figure 6 : Concentration moyenne en SO₂ (2008-2012) des zones urbanisées à l'échelle des quartiers

Les quartiers dont les zones urbanisées enregistrent les concentrations moyennes en dioxyde de soufre les plus élevées forment un groupe d'orientation ouest-nord-ouest/est-sud-est (auquel il faut ajouter Nouville), de part et d'autre du quartier de Doniambo et de l'usine SLN. Cette géographie de la pollution par quartier se rapproche de celle modélisée via ADMS-Urban (Annexe 6.2) où la principale, et quasi-unique, source d'émission (i.e. l'usine SLN) est à l'origine de panaches suivant la même configuration spatiale. A noter que la classe inférieure (concentrations inférieures à 3,6 µg/m³) regroupe 32 des 46 quartiers.

Carte des concentrations en PM10

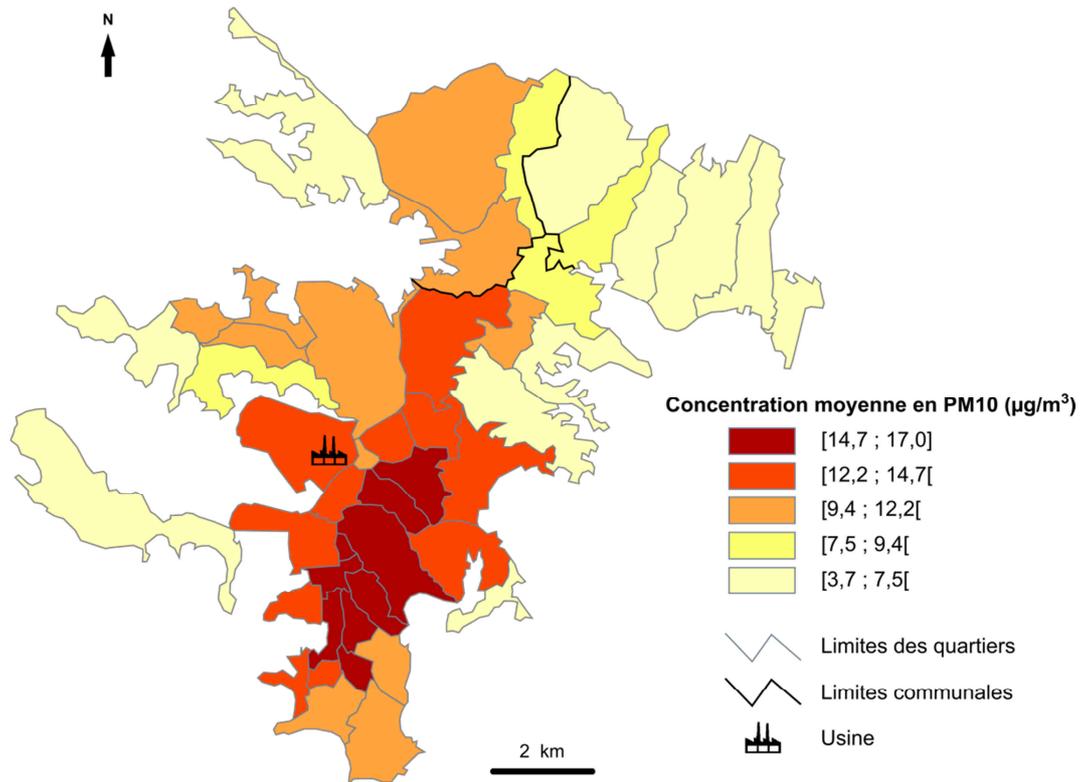


Figure 7 : Concentration moyenne en PM10 (2008-2012) des zones urbanisées à l'échelle des quartiers

Les quartiers avec les concentrations moyennes les plus élevées forment un ensemble continu d'orientation générale nord-nord-est/sud-sud-ouest, allant du quartier de Rivière Salée (au nord) à celui de Baie des Citrons (au sud).

La confrontation de cette carte avec celle de la densité de population par quartier issue de l'Atlas démographique du Grand Nouméa (ISEE, 2009), et celle présentée dans l'annexe 6.1, permet de mettre en avant une adéquation entre fortes concentrations et fortes densités de population.

Les niveaux moyens des 3 polluants étudiés par quartier sont présentés dans l'annexe 6.3.

3.1.2 Indice de défaveur

Rappelons que les valeurs de l'indice correspondent aux scores (ou points-observations) de la 1^{ère} composante principale d'une ACP mise en œuvre sur sept variables socioéconomiques. Par conséquent, les valeurs ne doivent, en théorie, pas être considérées comme des mesures : un quartier avec une valeur de 2 n'est pas deux fois plus « défavorisé » que celui ayant une valeur de 1. Le but principal de cet indice est de fournir un ordre de grandeur afin de hiérarchiser les quartiers en fonction de leur profil socioéconomique allant du plus défavorisé au plus aisé.

Cependant, malgré ces précautions d'usage, nous décrivons les principales caractéristiques de cet indice (Tableau 6) de la même manière que pour les polluants, tout en précisant que la moyenne est forcément égale à 0 sur l'ensemble de la zone. La discrétisation se base sur cinq classes créées à partir de l'algorithme de Jenks (Figure 8).

	Ensemble de la zone	Nouméa	Dumbéa	Le Mont-Dore
Moyenne	0	-0,28	1,45	0,68
Médiane	-0,14	-0,79	1,18	0,65
Ecart-type	2,59	2,82	1,68	0,72
Minimum (avec nom du quartier) <i>Quartier le plus aisé</i>	-4,0 (Orphelinat)		-0,24 (Dumbéa-sur-Mer)	-0,53 (Pont des Français)
Maximum (avec nom du quartier) <i>Quartier le plus défavorisé</i>	4,37 (Tindu)		3,69 (Cœur de Ville)	1,49 (Saint-Michel)

Tableau 6 : Principales caractéristiques de l'indice de défaveur socioéconomique sur la zone d'étude

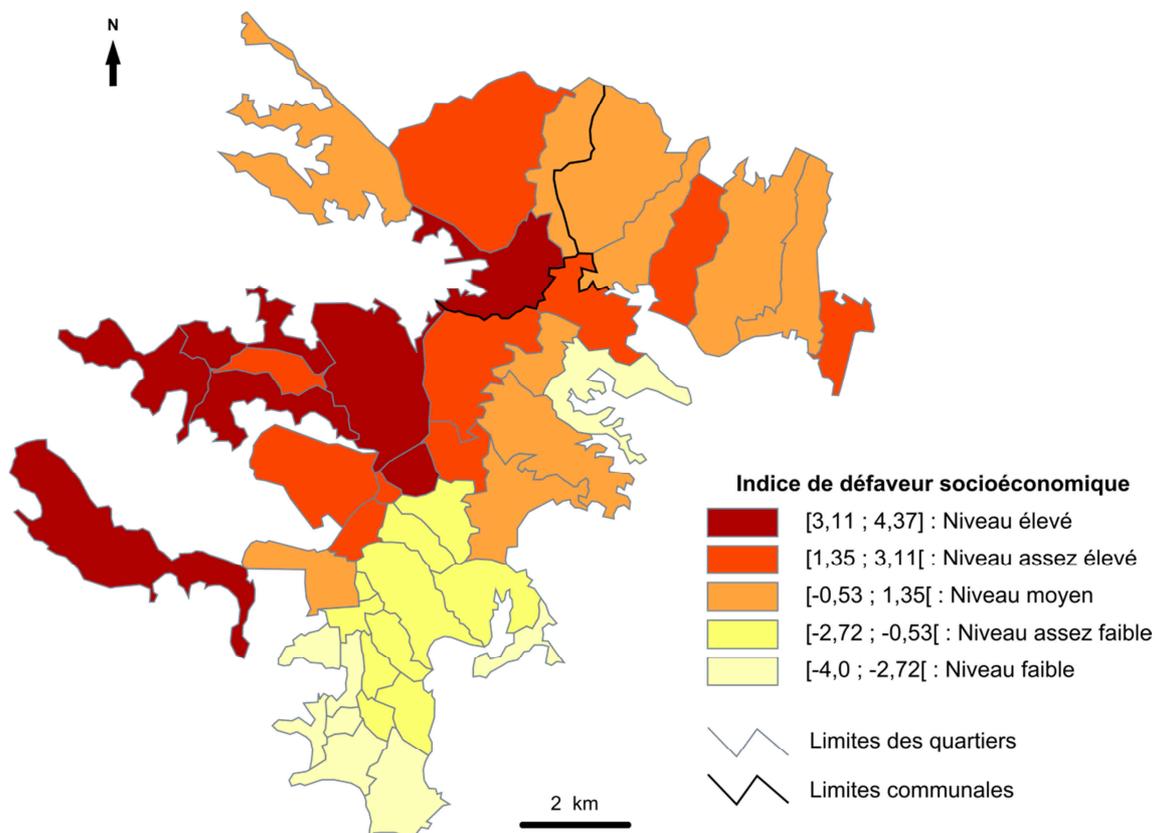


Figure 8 : Niveau de défaveur socioéconomique, issu de l'indice élaboré dans le cadre de l'étude, à l'échelle des quartiers

L'analyse de la Figure 8 permet de mettre en avant un gradient nord-ouest/sud-est du plus défavorisé vers le plus aisé, gradient qui concerne surtout la commune de Nouméa qui se caractérise par une grande hétérogénéité socioéconomique (Tableau 6). Les quartiers des deux communes limitrophes présentent des moyennes plus élevées qu'à Nouméa, et forment des ensembles plus homogènes surtout en ce qui concerne les six quartiers du Mont-Dore (Tableau 6).

Le détail des résultats des indices de défaveur par quartier est présenté dans l'annexe 6.4.

Les cinq classes de défaveur ci-dessus ont été regroupées ultérieurement en 3 classes dans le cadre de la modélisation de Poisson en cas d'interaction entre la défaveur et la pollution. Ce regroupement a concerné les deux classes les plus défavorisées d'une part et les deux classes les plus favorisées d'autre part.

3.1.3 Indicateurs sanitaires

Décès

Causes de décès	hommes	femmes	0-14 ans	15-64 ans	65 ans ou +	Total
Cardiovasculaires	237	168	-	121	284	405
Respiratoires	62	46	3	22	83	108
Cancer du poumon	93	48	-	49	92	141

Tableau 7 : Détail des décès par cause, sexe et tranches d'âge

Hospitalisations

Causes d'hospitalisation	hommes	femmes	0-14 ans	15-64 ans	65 ans ou +	Total
Cardiovasculaires	3 139	1 932	-	2 505	2 566	5 071
Infarctus	200	60	-	175	85	260
Accidents Vasculaires Cérébraux (AVC)	428	391	-	388	431	819
Respiratoires	2 469	1 961	1 313	1 797	1 320	4 430
Asthme	221	290	202	236	73	511
BPCO	248	149	6	171	220	397
Infections respiratoires	877	660	242	716	579	1 537

Tableau 8 : Détail des hospitalisations par cause, sexe et tranches d'âge

Longues Maladies

Longues maladies	hommes	femmes	0-14 ans	15-64 ans	65 ans ou +	Total
Accident Vasculaire Cérébral	7	9	1	9	6	16
Asthme	151	127	175	98	5	278
Infarctus	50	6	.	49	7	56
Insuffisance respiratoire	17	8	.	12	13	25

Tableau 9 : Détail des longues maladies par cause, sexe et tranches d'âge

Médicaments pour asthme

Médicaments pour asthme	hommes	femmes	0-14 ans	15-64 ans	65 ans ou +	Total
Nombre de prescriptions	11 106	14 558	3 061	17 512	5 091	25 664

Tableau 10 : Détail des consommations médicamenteuses pour asthme par cause, sexe et tranches d'âge

Les tableaux descriptifs complets avec les effectifs des causes de décès, d'hospitalisation et de délivrance de médicaments pour asthme pour la période d'étude (et le nombre d'adresses non géoréférencés par cause) sont présentés dans l'annexe 6.5.

3.1.4 Corrélation entre indicateurs de pollution et indice de défaveur

Coefficients de corrélation de Spearman (n=46)				
Causes de décès	Indice de défaveur	Moyenne NO ₂	Moyenne SO ₂	Moyenne PM10
Indice de défaveur	1	-0,27 p=0,067	0,74 p<0,0001	-0,30 p=0,046
Moyenne NO ₂		1	-0,38 p=0,009	0,46 p=0,001
Moyenne SO ₂			1	-0,21 p=0,158
Moyenne PM10				1

Tableau 11 : Détail des corrélations entre l'indice de défaveur socioéconomique et les trois polluants

L'*indice de défaveur* est fortement et positivement lié à la moyenne de SO₂ (coefficient = 0,74) indiquant que les populations les plus défavorisées sont également les plus exposées au SO₂ (Tableau 11). A noter en revanche que la corrélation est faible et négative avec le NO₂ (non significative) et avec les PM10 (tout juste significative). Cela s'explique par le fait que les quartiers les plus aisés (Figure 8), qui sont également les plus densément peuplés (Annexe 6.1), ont plus tendance à être concernés par de fortes concentrations de ces deux polluants (Figure 5 ; Figure 7).

Les polluants PM10 et NO₂, dont une des sources principales est le trafic automobile, sont significativement corrélés entre eux, tandis que NO₂ et SO₂ ont la particularité d'être négativement corrélés. Le caractère singulier des concentrations en SO₂, liées quasi-exclusivement à une seule source bien délimitée (Numtech, 2014b), peut, en partie, expliquer ce résultat.

3.2 Indicateurs sanitaires par quartier

Les SMR et les SIR sont présentés en trois classes. Pour faciliter la lecture des cartes, la classe supérieure a systématiquement, pour borne inférieure, la même valeur de SMR ou de SIR (1,10). Il en est de même pour la borne supérieure de la classe inférieure (0,90), la classe intermédiaire (avec des SMR ou SIR compris entre 0,90 et 1,10) étant celle dont les caractéristiques, mortalité ou hospitalisations, s'éloignent peu de la moyenne de la zone d'étude. Les quartiers ayant un SMR, ou un SIR, significatif sont signalés par un point (peu de SMR sont significatifs, du fait du nombre réduit de décès sur la période d'étude).

3.2.1 Décès par quartier

Le détail des résultats des SMR par quartier est présenté dans l'annexe 6.6 (décès observés et attendus, SMR et intervalle de confiance par quartier).

Le Tableau 12 présente, à titre indicatif, les corrélations (coefficients de Spearman) entre les SMR, les concentrations moyennes des trois polluants et l'indice de défaveur. D'une manière générale, ces corrélations sont faibles. Les plus fortes (et les seules significatives) sont retrouvées entre le SMR pour toutes causes cardiovasculaires et l'indice de défaveur d'une part, et le SO₂ d'autre part.

Coefficients de corrélation p-value	SMR toutes causes cardiovasculaires	SMR toutes causes respiratoires	SMR cancers du poumon
Indice de défaveur	0,40 p=0,007	0,23 p=0,130	0,11 p=0,487
Moyenne SO ₂	0,34 p=0,021	0,16 p=0,290	-0,02 p=0,896
Moyenne PM10	-0,12 p=0,446	0,14 p=0,361	-0,06 p=0,713
Moyenne NO ₂	-0,12 p=0,426	-0,002 p=0,990	-0,05 p=0,732

Tableau 12 : Détail des corrélations pour chaque catégorie de SMR

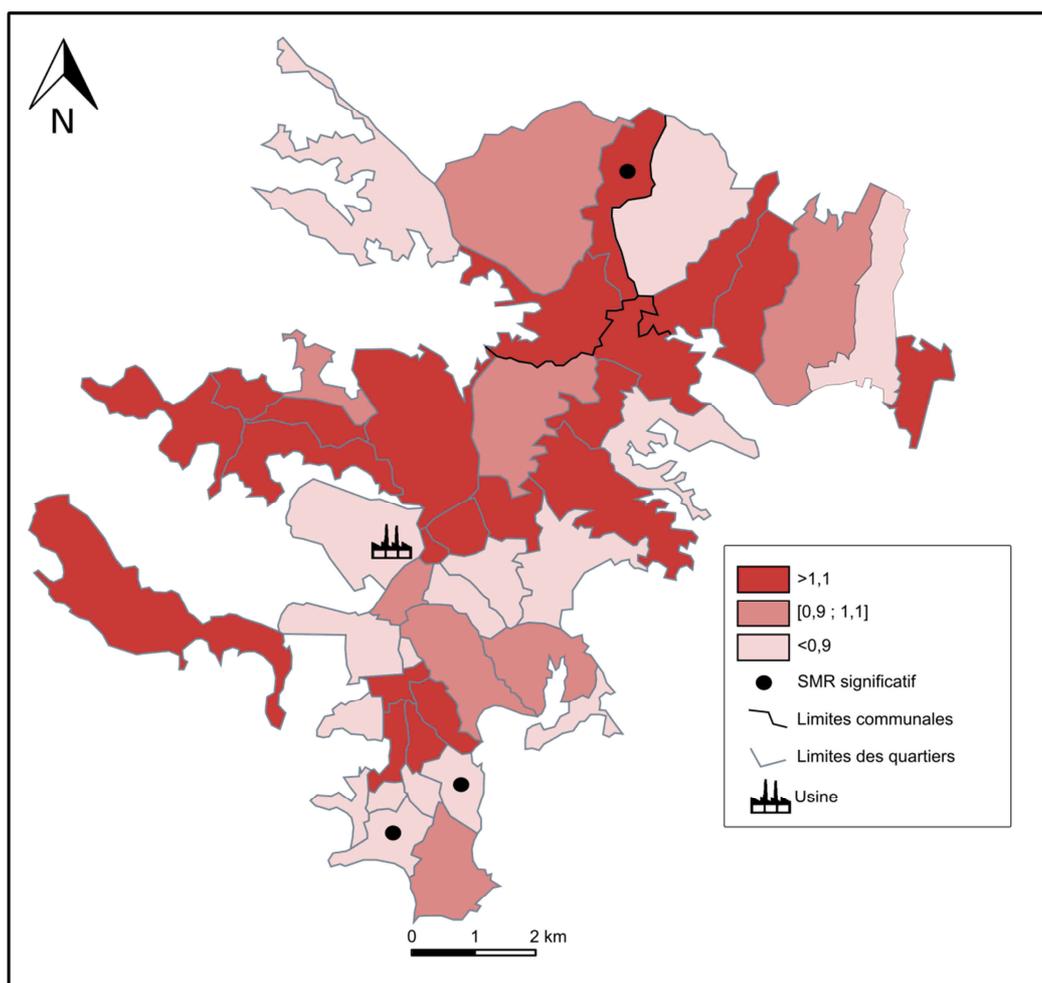


Figure 9 : Caractéristiques des SMR pour toutes causes cardiovasculaires

La répartition des SMR pour les causes cardiovasculaires sur le territoire de la zone d'étude est hétérogène (Figure 9), aucun gradient n'apparaît clairement. Vu les effectifs réduits de ce type de décès, la très grande majorité des SMR par quartier est non significative. Seuls deux quartiers aisés du sud de Nouméa (Anse Vata et N'Géa) présentent un risque de décès significativement plus faible que sur l'ensemble de la zone d'étude. A l'opposé, le quartier d'Auteuil (commune de Dumbéa) présente un risque significativement plus élevé.

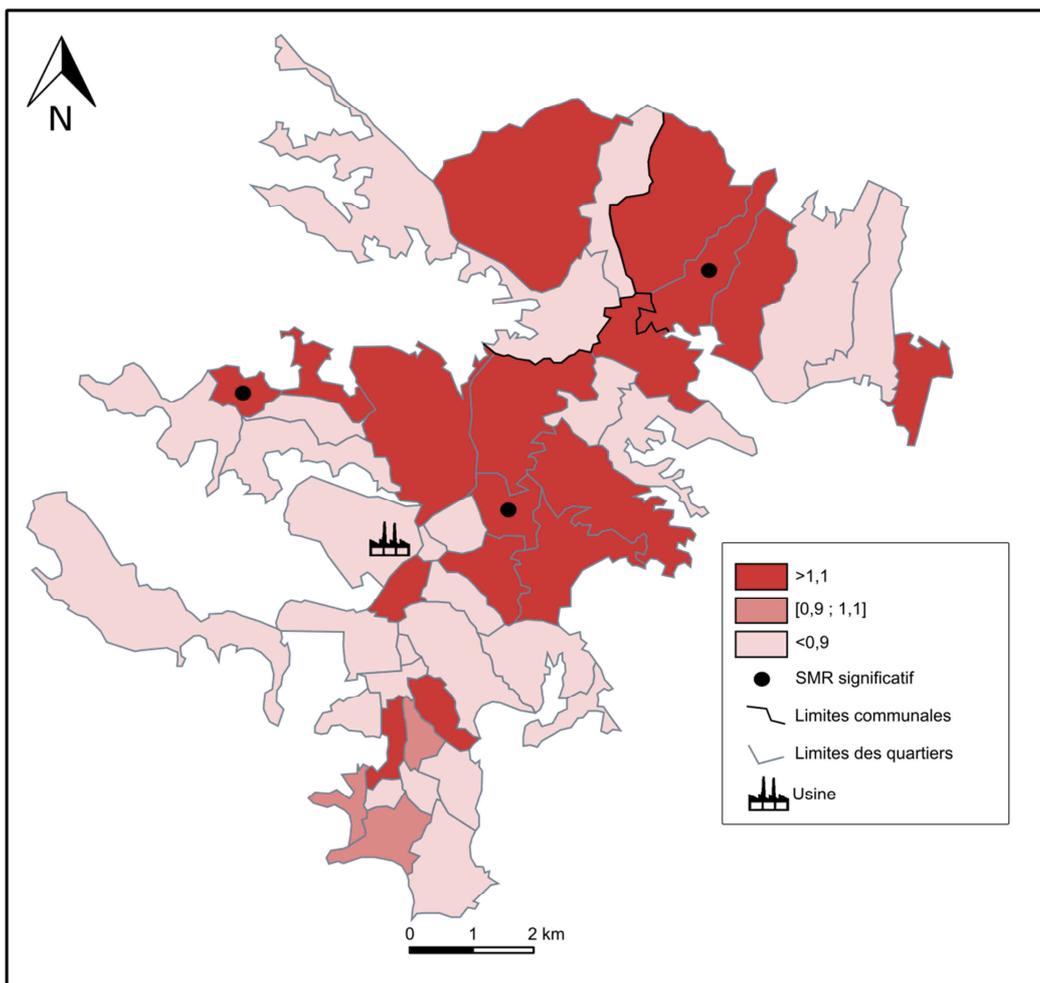


Figure 10 : Caractéristiques des SMR pour toutes causes respiratoires

Dans le cas présent, peu de quartiers présentent des SMR pour les causes respiratoires proches de la moyenne (Figure 10). A l'instar des causes cardiovasculaires, l'immense majorité des quartiers ne présente pas de SMR significatifs. Seuls les quartiers de Tindu et PK4 à Nouméa, et Pont des Français au Mont-Dore, ont une mortalité respiratoire significativement plus élevée que l'ensemble de la zone d'étude.

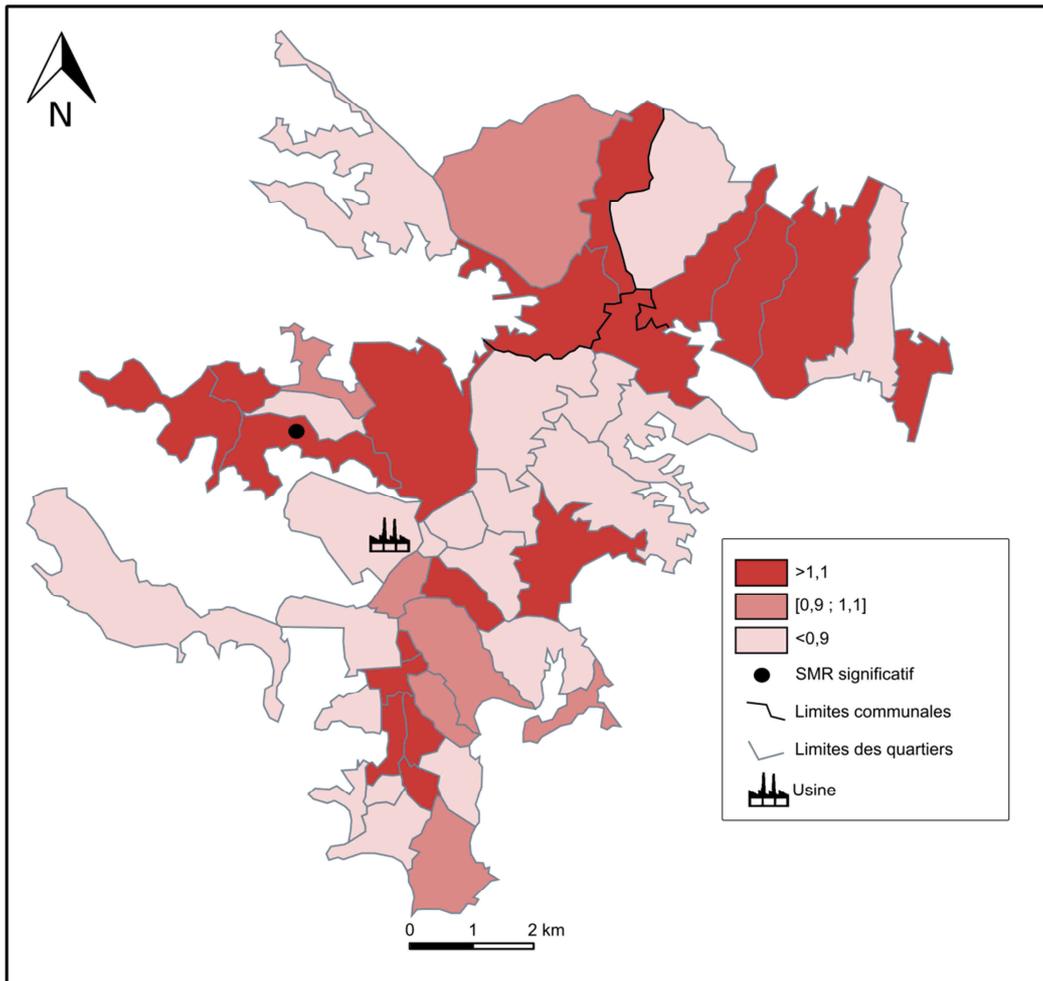


Figure 11 : Caractéristiques des SMR pour le cancer du poumon

De nouveau, les SMR pour le cancer du poumon ne sont pas significatifs, vu les faibles effectifs de ce type de décès (Figure 11). La seule exception concerne le quartier de Ducos à Nouméa qui enregistre une mortalité par cancer du poumon significativement plus élevée que l'ensemble de la zone d'étude (7 décès observés pendant les 5 ans de la période d'étude).

3.2.2 Hospitalisations par quartier

Le détail des résultats des SIR pour causes cardiovasculaires et respiratoires par quartier est présenté dans l'annexe 6.7 (hospitalisations observées et attendues, SIR et intervalle de confiance par quartier).

Le Tableau 13 et le Tableau 14 présentent, à titre indicatif, les corrélations (coefficients de Spearman) entre les SIR (respectivement pour les causes cardiovasculaires et respiratoires), les concentrations moyennes des trois polluants et l'indice de défaveur.

Les SIR pour l'ensemble des causes cardiovasculaires et respiratoires sont positivement corrélés avec l'indice de défaveur d'une part, et le SO₂ d'autre part. On peut remarquer des corrélations similaires pour les SIR par cause spécifique dans le domaine respiratoire et pour le SIR pour AVC (à noter que dans ce dernier cas, il existe également une corrélation significative négative avec les PM10).

Coefficients de corrélation p-value	SIR	SIR infarctus	SIR AVC
	cardiovasculaires		
Indice de défaveur	0,52 p=0,0002	0,14 p=0,342	0,60 p<0,0001
Moyenne SO ₂	0,38 p=0,008	0,14 p=0,344	0,32 p=0,029
Moyenne PM10	-0,22 p=0,148	0,13 p=0,389	-0,34 p=0,019
Moyenne NO ₂	-0,16 p=0,301	-0,10 p=0,501	-0,16 p=0,288

Tableau 13 : Détail des corrélations pour chaque catégorie de SIR pour causes cardiovasculaires

Coefficients de corrélation p-value	SIR	SIR asthme	SIR BPCO	SIR infections respiratoires
	respiratoires			
Indice de défaveur	0,86 p<0,0001	0,79 p<0,0001	0,61 p<0,0001	0,85 p<0,0001
Moyenne SO ₂	0,53 p=0,0002	0,57 p<0,0001	0,37 p=0,010	0,57 p<0,0001
Moyenne PM10	-0,23 p=0,126	-0,20 p=0,181	-0,07 p=0,655	-0,23 p=0,122
Moyenne NO ₂	-0,23 p=0,131	-0,11 p=0,474	-0,21 p=0,154	-0,23 p=0,121

Tableau 14 : Détail des corrélations pour chaque catégorie de SIR pour causes respiratoires

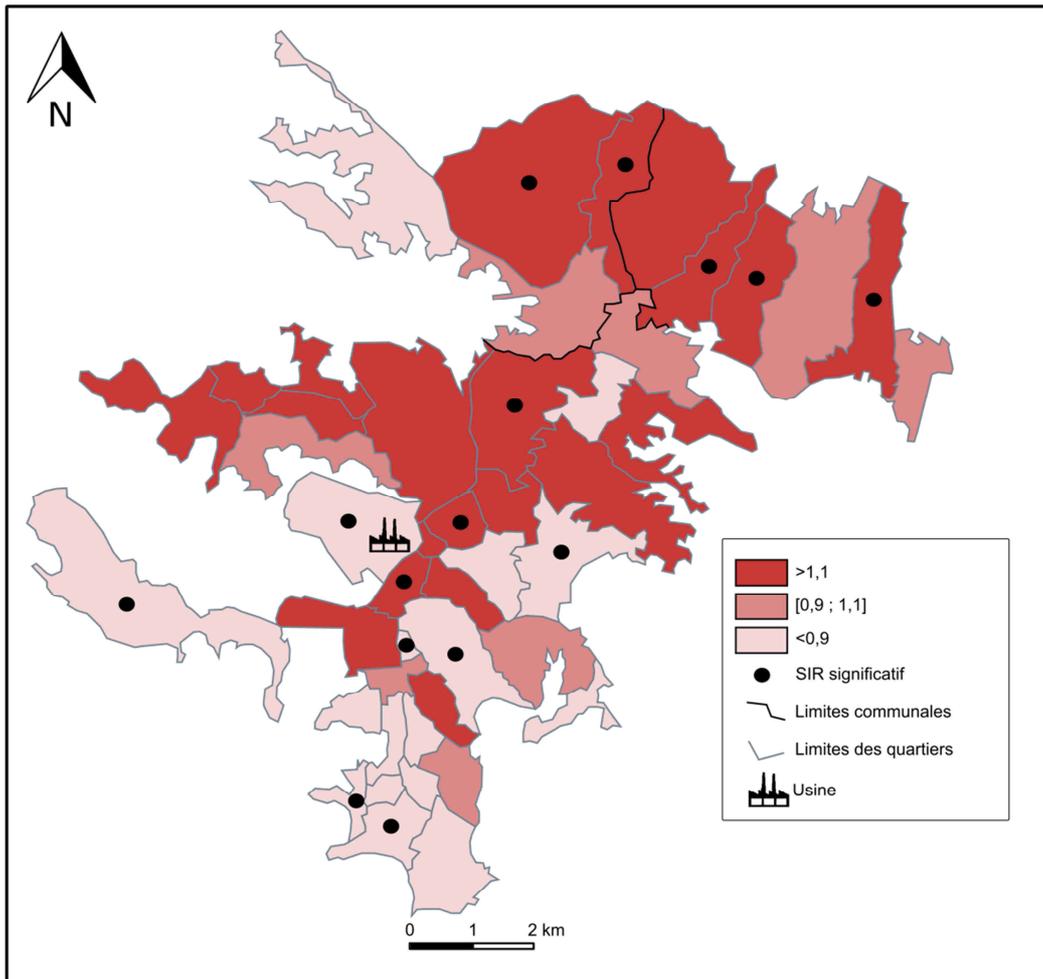


Figure 12 : Caractéristiques des SIR pour les hospitalisations pour toutes causes cardiovasculaires

Les effectifs d’hospitalisations étant plus élevés que ceux de décès, les SIR sont plus souvent significatifs. Ainsi 15 des 46 quartiers présentent des SIR significatifs (Figure 12) pour les causes cardiovasculaires. Un certain gradient se dessine avec, globalement, les quartiers de la moitié méridionale de la zone d’étude qui présentent des SIR plus faibles que ceux de la moitié septentrionale. Ce gradient est relativement bien en phase avec la géographie de la défaveur socioéconomique (coefficient de 0,52 et $p=0,0002$) (Tableau 13).

Les cartes des SIR pour les hospitalisations par cause spécifique sont présentées dans l’annexe 6.7. En ce qui concerne les infarctus du myocarde, seuls deux quartiers présentent des SIR significatifs : Haut-Magenta (hospitalisations significativement plus élevées que l’ensemble de la zone d’étude) et Aéroport (hospitalisations significativement plus faibles). Seuls quatre quartiers présentent des SIR significatifs pour les AVC : trois supérieurs à 1,10 (Cœur de Ville, Montravel et La Conception) et un en-dessous de 0,90 (Vallée du Génie).

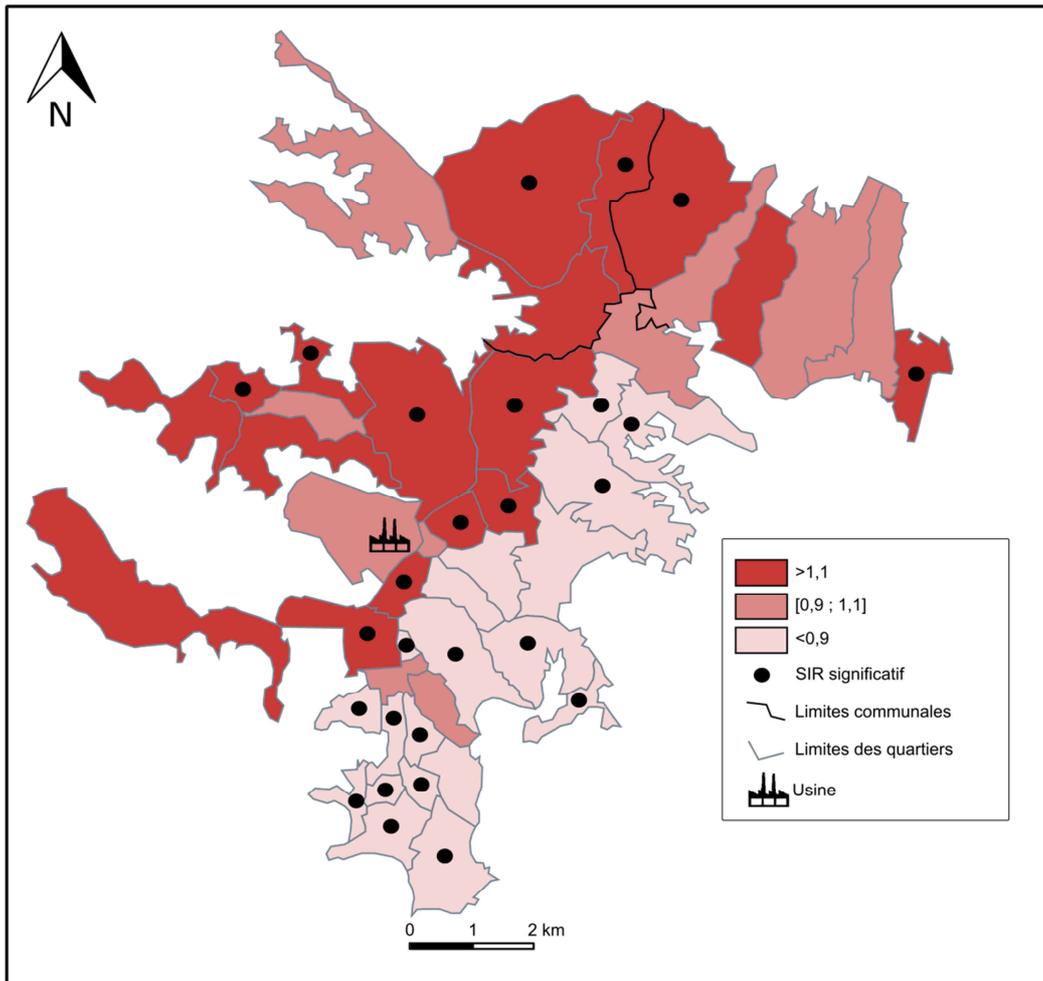


Figure 13 : Caractéristiques des SIR pour les hospitalisations pour toutes causes respiratoires

Par rapport au cas précédent (Figure 12), le nombre de SIR significatifs est plus élevé avec 27 quartiers concernés (Figure 13). L'analyse de cette carte permet de mettre en avant une opposition nord-ouest/sud-est avec des quartiers présentant des SIR plus élevés (et souvent de manière significative) que la moyenne de la zone d'étude sur la partie occidentale, et des quartiers aux caractéristiques opposées sur la partie orientale. Cette répartition des SIR semble être bien en phase avec la géographie de la défaveur socioéconomique (Figure 8), ce que démontre les coefficients de corrélation significatifs (0,86 et $p < 0,0001$) (Tableau 13).

Les cartes des SIR pour les hospitalisations par cause spécifique sont présentées dans l'annexe 6.7. La répartition des SIR des hospitalisations pour asthme présente de fortes similitudes avec celle de l'ensemble des hospitalisations pour causes respiratoires, mais avec un nombre de SIR significatifs beaucoup plus faible (neuf quartiers concernés). Le même constat peut être établi pour les BPCO (avec 14 quartiers présentant un SIR significatif) et les infections respiratoires qui présentent un nombre de SIR significatifs plus élevé que les deux autres causes spécifiques (20). Comme pour l'ensemble des causes respiratoires, la géographie des SIR est en phase avec celle de la défaveur socioéconomique avec des coefficients de corrélations de 0,61 (BPCO), 0,79 (asthme) et 0,85 (infections respiratoires) (Tableau 14).

3.2.3 Médicaments pour asthme par quartier

Le détail des résultats des SIR par quartier est présenté dans l'annexe 6.7.

Coefficients de corrélation p-value	SIR prescriptions médicamenteuses pour asthme
Indice de défaveur	0,56 p<0,0001
Moyenne SO ₂	-0,19 p=0,210
Moyenne PM10	-0,08 p=0,601
Moyenne NO ₂	0,05 p=0,739

Tableau 15 : Détail des corrélations pour les SIR des prescriptions médicamenteuses pour asthme

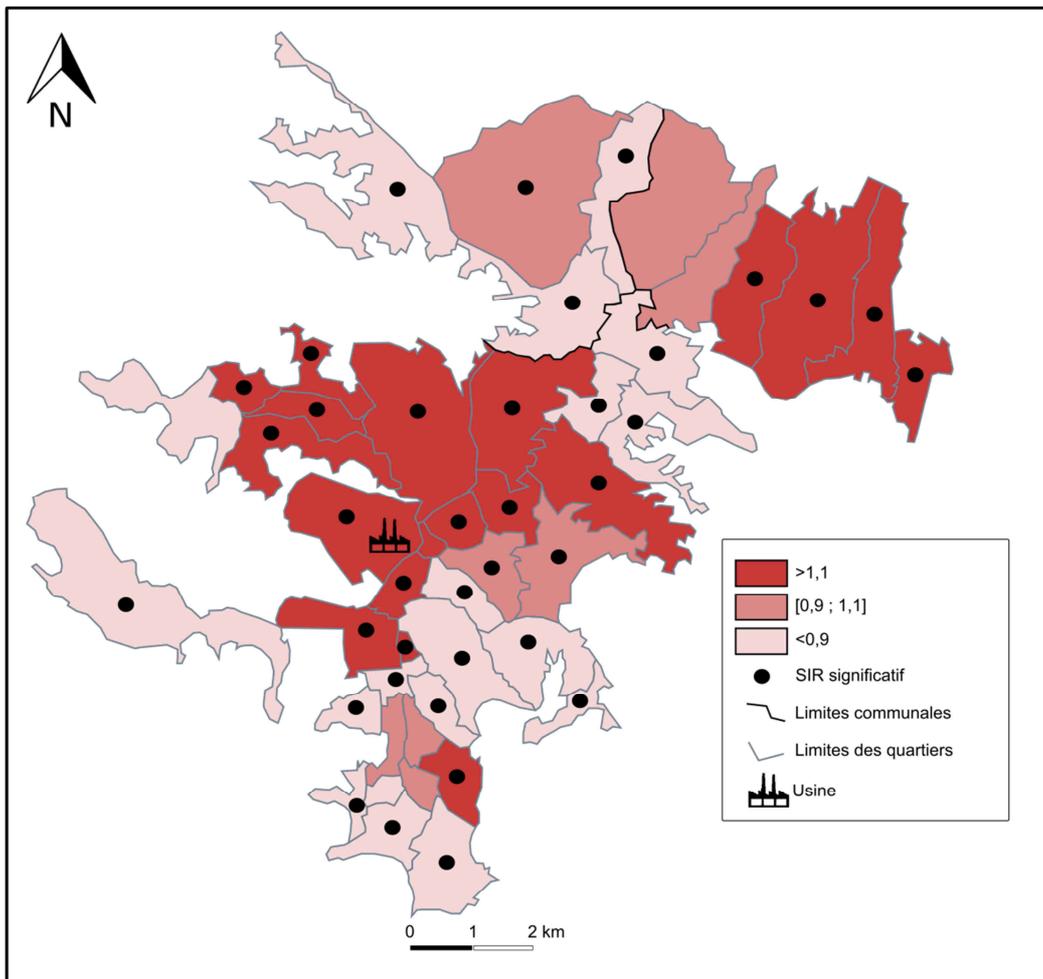


Figure 14 : Caractéristiques des SIR pour les prescriptions médicamenteuses pour asthme.

Les valeurs des SIR des prescriptions médicamenteuses sont à prendre avec précaution du fait du très grand nombre d'observations inexploitable dans la base de données initiale (cf. paragraphe 2.3.4).

Malgré tout, la répartition des SIR des prescriptions (Figure 14) est similaire à celle des SIR pour toutes causes respiratoires (Figure 13) avec une corrélation positive significative, comme pour les hospitalisations, avec l'indice de défaveur (Tableau 15). Trente-huit des 46 quartiers présentent des SIR significatifs, résultat s'expliquant, en très grande partie, par les effectifs élevés de prescriptions médicamenteuses (Tableau 10).

3.3 Relation entre pollution et indicateurs de santé

L'analyse s'effectue à l'échelle des quartiers. Le lien entre les concentrations moyennes des polluants et les indicateurs de santé (SMR ou SIR pour la mortalité, les hospitalisation et la délivrance de médicaments pour asthme), en tenant compte de l'indice de défaveur, est étudié par la régression de Poisson avec prise en compte de la surdispersion (variance des indicateurs sanitaires plus importante que prévu par le modèle) et de l'autocorrélation spatiale (ressemblance plus importante des quartiers proches entre eux que des quartiers plus éloignés). Rappelons que ces modèles permettent en retour de connaître la relation non biaisée entre la défaveur et l'indicateur de santé, ajusté sur chacun des polluants.

Les résultats issus des analyses bivariées sont présentés dans ce chapitre. Ceux de l'étude de l'autocorrélation spatiale des indicateurs de santé entre quartiers sont présentés dans l'annexe 6.8 et ceux des analyses univariées (résultats bruts sans ajustement sur la défaveur) dans l'annexe 6.9. Rappelons que le risque relatif (RR) évalue l'augmentation du risque sanitaire pour une augmentation de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de la concentration du polluant ou pour une augmentation d'une unité de l'indice de défaveur. Par exemple, un RR de 2 pour un polluant indique un risque de doublement d'un SMR ou SIR quand la concentration moyenne du polluant augmente de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, après prise en compte de l'indice de défaveur.

3.3.1 Indicateurs de santé - SO₂

3.3.1.1 Mortalité

Mortalité	Modèle bivarié					
	SO ₂			Indice de défaveur		
	RR	IC95%	p	RR	IC95%	p
cardiovasculaire	1,11	0,71-1,74	0,633	1,05	0,99-1,11	0,084
respiratoire	0,94	0,41-2,13	0,874	1,11	1,002-1,23	0,045
cancer poumon	1,29	0,63-2,63	0,476	1,03	0,94-1,13	0,525

Tableau 16 : Relation entre les moyennes de SO₂ et la mortalité avec ajustement sur la défaveur

Aucun lien significatif n'est observé entre les concentrations moyennes de SO₂ et la mortalité pour toutes causes cardiovasculaires, toutes causes respiratoires ou par cancer du poumon (malgré un SMR de 1,29 pour cette dernière cause de mortalité). A noter un lien significatif entre la défaveur et la mortalité pour toutes causes respiratoires, soit une augmentation de la mortalité de 11% en lien avec une augmentation d'une unité de l'indice de défaveur.

3.3.1.2 Hospitalisations

Hospitalisations	Modèle bivarié					
	SO ₂			Indice de défaveur		
	RR	IC95%	p	RR	IC95%	p
cardiovasculaires	0,83	0,65-1,06	0,129	1,06	1,03-1,09	<0,0001
infarctus	1,12	0,67-1,88	0,658	1,03	0,97-1,10	0,298
AVC	Interaction entre SO ₂ et défaveur: voir Tableau 18					
respiratoires	0,84	0,65-1,07	0,152	1,18	1,14-1,23	<0,0001
asthme	0,86	0,59-1,27	0,448	1,19	1,12-1,25	<0,0001
BPCO	0,86	0,51-1,47	0,578	1,25	1,16-1,35	<0,0001
infections respiratoires	0,94	0,73-1,22	0,634	1,18	1,14-1,22	<0,0001

Tableau 17 : Relation entre les moyennes de SO₂ et les hospitalisations avec ajustement sur la défaveur

Modèles en cas d'interaction entre SO ₂ et défaveur		Modèle par classe de défaveur		
Hospitalisations		SO ₂		
		RR	IC95%	p
AVC (1)	Quartiers avec indice de défaveur bas (référence)	0,73	0,21-2,59	0,616
	Quartiers avec indice de défaveur moyen	0,93	0,12-7,20	0,942
	Quartiers avec indice de défaveur élevé	1,44	1,01-2,04	0,044

Tableau 18 : Relation entre les moyennes de SO₂ et les hospitalisations par classe de défaveur

Les hospitalisations pour l'ensemble des causes cardiovasculaires et respiratoires sont significativement liées à la défaveur socioéconomique (avec un SIR plus élevé pour les causes respiratoires), mais pas au SO₂ (Tableau 17). C'est également le cas pour chacune des causes respiratoires avec une hausse des hospitalisations, pour une unité de l'indice de défaveur, allant de 18% (infections respiratoires) à 25% (BPCO).

Pour les AVC, la relation avec le SO₂ diffère selon le niveau de défaveur (terme d'interaction significatif). Les résultats montrent plus d'hospitalisations pour AVC (+44%) en lien avec l'augmentation du SO₂ dans les quartiers les plus défavorisés (Tableau 18).

3.3.1.3 Délivrance des médicaments pour asthme

Médicaments	Modèle bivarié					
	SO ₂			Indice de défaveur		
	RR	IC95%	p	RR	IC95%	p
Asthme	0,68	0,44-1,03	0,069	1,14	1,09-1,21	<0,0001

Tableau 19 : Relation entre moyennes de SO₂ et délivrance des médicaments avec ajustement sur la défaveur

Comme, pour les hospitalisations pour causes respiratoires, la délivrance des médicaments pour asthme est significativement liée à la défaveur socioéconomique (avec une hausse de 14%), mais pas au SO₂. On note au contraire une tendance à la baisse de la consommation de médicaments, à la limite du seuil de signification, en lien avec une augmentation du SO₂.

3.3.2 Indicateurs de santé – PM10

3.3.2.1 Mortalité

Mortalité	Modèle bivarié					
	PM10			Indice de défaveur		
	RR	IC95%	p	RR	IC95%	p
cardiovasculaire	1,10	0,80-1,49	0,551	1,06	1,01-1,11	0,016
respiratoire	1,86	0,95-3,63	0,069	1,13	1,02-1,25	0,019
cancer du poumon	Interaction entre PM10 et défaveur : cf tableau ci-dessous (1)					

Tableau 20 : Relation entre les moyennes de PM10 et la mortalité avec ajustement sur la défaveur

Mortalité		Modèle par classe de défaveur		
		PM10		
		RR	IC95%	p
cancer du poumon (1)	Quartiers avec indice de défaveur bas (référence)	2,13	0,90-5,02	0,084
	Quartiers avec indice de défaveur moyen	0,72	0,22-2,32	0,575
	Quartiers avec indice de défaveur élevé	0,36	0,13-1,001	0,0502

Tableau 21 : Relation entre moyennes de PM10 et mortalité par cancer du poumon par classe de défaveur

La mortalité pour causes respiratoires a tendance à croître fortement en lien avec l'augmentation des PM10 (Tableau 20) (hausse de 86% pour une augmentation de 10 µg/m³ de la concentration moyenne), mais après ajustement sur la défaveur socioéconomique le seuil de significativité statistique n'est pas atteint (p=0,069). Pour sa part, la défaveur augmente significativement le risque de décès pour toutes causes cardiovasculaires (+6%) et toutes causes respiratoires (+13%).

Une interaction entre la défaveur et les PM10 pour la mortalité par cancer du poumon est observée, avec un effet des PM10 perceptible dans les quartiers les plus favorisés (SMR de 2,13 en lien avec une augmentation de 10 µg/m³ de ce polluant), tout en étant légèrement inférieur au seuil de significativité statistique. Inversement, dans les quartiers défavorisés, le risque de décès diminue (RR=0,36) avec l'augmentation des concentrations en PM10 (Tableau 21) à la limite du seuil de significativité de 95%.

3.3.2.2 Hospitalisations

Hospitalisations	Modèle bivarié					
	PM10			Indice de défaveur		
	RR	IC95%	p	RR	IC95%	p
cardiovasculaires	Interaction entre défaveur et PM10: cf tableau ci-dessous (1)					
infarctus	1,40	0,97-2,02	0,071	1,06	1,004-1,12	0,038
AVC	0,97	0,75-1,25	0,811	1,08	1,04-1,12	0,0003
respiratoires	Interaction entre défaveur et PM10: cf tableau ci-dessous (2)					
asthme	1,05	0,76-1,44	0,776	1,18	1,12-1,23	<0,0001
BPCO	1,18	0,76-1,81	0,455	1,25	1,17-1,33	<0,0001
infections respiratoires	0,96	0,77-1,19	0,679	1,17	1,13-1,21	<0,0001

Tableau 22 : Relation entre les moyennes de PM10 et les hospitalisations avec ajustement sur la défaveur

Hospitalisations		Modèle par classe de défaveur		
		PM10		
		RR	IC95%	p
Cardiovasculaires (1)	Quartiers avec indice de défaveur bas (référence)	1,04	0,79-1,35	0,790
	Quartiers avec indice de défaveur moyen	0,81	0,57-1,17	0,252
	Quartiers avec indice de défaveur élevé	1,43	1,01-2,02	0,046
Respiratoires (2)	Quartiers avec indice de défaveur bas (référence)	1,27	0,81-2,01	0,288
	Quartiers avec indice de défaveur moyen	0,86	0,52-1,43	0,557
	Quartiers avec indice de défaveur élevé	1,27	0,82-1,95	0,275

Tableau 23 : Relation entre les moyennes de PM10 et les hospitalisations par classe de défaveur

A l'instar des modèles bivariés intégrant le SO₂ (cf. paragraphe 3.3.1.2), l'impact significatif de la défaveur socioéconomique sur une hausse des hospitalisations est mis en avant (**Tableau 22**) aussi bien sur les causes cardio-vasculaires que respiratoires.

Les relations entre les hospitalisations pour l'ensemble des causes cardiovasculaires et respiratoires et les PM10 diffèrent selon l'indice de défaveur, avec significativement plus d'hospitalisations pour causes cardiovasculaires en lien avec l'augmentation des PM10 dans les quartiers les plus défavorisés (RR=1,43). De façon non significative, les hospitalisations pour toutes causes respiratoires ont tendance à augmenter en lien avec l'augmentation des PM10 dans les quartiers les plus favorisés, et également les moins favorisés (Tableau 23).

On note également une relation à la limite du seuil de signification entre l'augmentation des PM10 et les hospitalisations pour infarctus (RR=1,40).

3.3.2.3 Délivrance des médicaments pour asthme

Médicaments	Modèle bivarié					
	PM10			Indice de défaveur		
	RR	IC95%	p	RR	IC95%	p
Asthme	1,10	0,81-1,50	0,519	1,12	1,07-1,18	<0,0001

Tableau 24 : Relation entre moyennes de PM10 et délivrance des médicaments avec ajustement sur défaveur

La consommation de médicaments pour asthme est significativement liée à la défaveur socioéconomique (augmentation de 12%), mais pas aux PM10.

3.3.3 Indicateurs de santé – NO₂

3.3.3.1 Mortalité

Mortalité	Modèle bivarié					
	NO ₂			Indice de défaveur		
	RR	IC95%	p	RR	IC95%	p
cardiovasculaire	1,16	0,81-1,66	0,409	1,06	1,01-1,11	0,015
respiratoire	1,04	0,52-2,08	0,905	1,11	1,02-1,20	0,022
cancer poumon	0,95	0,50-1,80	0,866	1,04	0,97-1,13	0,274

Tableau 25 : Relation entre les moyennes de NO₂ et la mortalité avec ajustement sur la défaveur

Aucun lien significatif n'est observé entre les concentrations moyennes de NO₂ et la mortalité pour toutes causes cardiovasculaires, toutes causes respiratoires ou par cancer du poumon.

En revanche, la mortalité pour toutes causes cardiovasculaires et toutes causes respiratoires augmente significativement avec la défaveur socio-économique, ce n'est pas le cas de la mortalité par cancer du poumon.

3.3.3.2 Hospitalisations

Hospitalisations	Modèle bivarié					
	NO ₂			Indice de défaveur		
	RR	IC95%	p	RR	IC95%	p
cardiovasculaires	1,07	0,89-1,28	0,476	1,05	1,03-1,08	<0,0001
infarctus	1,03	0,66-1,62	0,883	1,04	0,99-1,10	0,128
AVC	1,07	0,79-1,45	0,646	1,08	1,04-1,13	0,0001
respiratoires	1,13	0,92-1,38	0,228	1,17	1,14-1,21	<0,0001
asthme	1,16	0,84-1,62	0,360	1,17	1,12-1,23	<0,0001
BPCO	Interaction entre défaveur et NO ₂ : cf tableau ci-dessous (1)					
infections respiratoires	1,06	0,84-1,33	0,620	1,17	1,14-1,21	<0,0001

Tableau 26 : Relation entre les moyennes de NO₂ et les hospitalisations avec ajustement sur la défaveur

Hospitalisations		Modèle par classe de défaveur		
		NO ₂		
		RR	IC95%	p
BPCO (1)	Quartiers avec indice de défaveur bas (référence)	1,49	0,49-4,50	0,470
	Quartiers avec indice de défaveur moyen	1,37	0,52-3,56	0,516
	Quartiers avec indice de défaveur élevé	0,55	0,24-1,28	0,160

Tableau 27 : Relation entre les moyennes de NO₂ et les hospitalisations par classe de défaveur

Le NO₂ ne montre aucun lien significatif avec les hospitalisations (Tableau 26), tandis que la défaveur, comme constaté avec le SO₂ et les PM10, a un lien positif avec la plupart des indicateurs d'hospitalisations (avec des SIR plus élevés pour les causes respiratoires), à l'exception de celles pour infarctus.

Les hospitalisations pour BPCO semblent moins fréquentes, en lien avec l'augmentation du NO₂, dans les quartiers les plus défavorisés (RR=0,55) alors qu'elles sont plus fréquentes dans les deux autres catégories (RR=1,37 et RR=1,49). Cependant, aucun de ces risques relatifs n'est significatif (Tableau 27).

3.3.3.3 Délivrance médicaments pour asthme

Médicaments	Modèle bivarié					
	NO ₂			Indice de défaveur		
	RR	IC95%	p	RR	IC95%	p
Asthme	1,20	0,93-1,55	0,167	1,12	1,07-1,18	<0,0001

Tableau 28 : Relation entre moyennes de NO₂ et délivrance des médicaments avec ajustement sur défaveur

La consommation de médicaments pour asthme est significativement liée à la défaveur socioéconomique, mais pas à l'augmentation du NO₂.

4 DISCUSSION ET CONCLUSION

Cette étude de mise en relation des niveaux moyens de pollution avec des indicateurs de santé recueillis entre 2008 et 2012 à l'échelle des 46 quartiers de l'agglomération de Nouméa, apporte de nombreux enseignements.

Tout d'abord, elle confirme qu'aucun dépassement de l'objectif de qualité n'est constaté à l'échelle des quartiers pour le NO₂ et le SO₂ (respectivement 40 µg/m³ et 50 µg/m³ en moyenne annuelle). Pour les PM10, seuls deux polygones dépassent très légèrement l'objectif annuel de qualité de 30 µg/m³, tous les autres étant en dessous de ce seuil (cf. paragraphe 3.1.1). En revanche, une forte variabilité des concentrations moyennes de chacun des polluants d'un quartier à l'autre est constatée. Une variabilité entre quartiers est également observée pour la défaveur socio-économique, avec un gradient entre le nord-ouest (plus défavorisé) et le sud-est (plus aisé). Cette étude rapporte par ailleurs que, dans la très grande majorité des cas, la mortalité et les hospitalisations pour l'ensemble des causes cardiovasculaires et respiratoires et la délivrance de médicaments pour asthme augmentent avec la défaveur socio-économique des quartiers, quel que soit le polluant intégré en tant que variable d'ajustement. Enfin, malgré les faibles concentrations des polluants, et après prise en compte de l'effet de la défaveur, quelques relations statistiques significatives ou à la limite du seuil de signification sont mises en évidence, il s'agit de liens entre l'augmentation des PM10 (quatre relations) ou du SO₂ (une relation) et des augmentations de mortalité (deux relations) et d'hospitalisations (trois relations) concernant les trois grandes catégories de causes étudiées (cancers du poumon, pathologies cardiovasculaires et respiratoires). Dans certains cas, ces relations n'existent que dans des quartiers ayant un niveau de défaveur homogène, soit bas, soit élevé. Aucune relation n'est en revanche mise en évidence entre les indicateurs sanitaires retenus et le NO₂.

Association pollution atmosphérique/effets sanitaires

➤ **SO₂**. Aucune relation entre le SO₂ et la mortalité, les hospitalisations respiratoires ou la délivrance de médicaments pour asthme n'est mise en évidence. Seul un effet peu marqué sur les hospitalisations cardio-vasculaires est observé, avec un lien entre une augmentation du SO₂ et une augmentation des hospitalisations pour AVC uniquement dans les quartiers défavorisés. Relativement peu d'études concernant l'impact de la pollution d'origine industrielle sur les hospitalisations cardiovasculaires ont été publiées. Une étude menée au Canada retrouve un ratio standardisé d'hospitalisation cardiovasculaire plus élevé dans les villes industrialisées par rapport à une ville témoin (Fung et al, 2007), tandis qu'une étude au Royaume-Uni ne retrouve pas d'excès d'hospitalisations pour pathologies cardiovasculaires et AVC parmi la population résidant à proximité de cokeries (Aylin et al, 2001). L'étude menée par l'InVS autour de l'étang de Berre (zone fortement industrialisée), avec un profil d'étude comparable à celle menée ici, montre une augmentation des hospitalisations pour infarctus, mais pas pour AVC, dans les quartiers les plus pollués en SO₂ par rapport aux quartiers les moins pollués (Pascal et al, 2013). En revanche, de nombreuses études, notamment dans le contexte de l'évaluation des bénéfices sanitaires suite à des diminutions du SO₂, ont constaté des effets sur les pathologies respiratoires. Mais, dans ces études, la baisse du SO₂ est importante, comme dans celle après la réunification allemande où les niveaux de SO₂ sont passés de 113 à 6 µg/m³ (Fry et al, 2003). Rappelons qu'à Nouméa les moyennes de SO₂ sont particulièrement faibles, les quartiers dont les zones urbanisées enregistrent les concentrations moyennes les plus

élevées sont ceux situés de part et d'autre du quartier de Doniambo. Si les concentrations annuelles de SO₂ dans l'agglomération de Nouméa n'entraînent pas d'effets à long terme perceptibles sur la mortalité et peu sur les hospitalisations, rappelons en revanche que des effets aigus du SO₂ avaient été constatés parmi les écoliers de Nouméa, avec une augmentation des symptômes de type irritations du nez et des yeux, de la toux et de la gêne respiratoire chez l'ensemble des enfants.

➤ **PM10.** Plusieurs relations statistiques sont mises en évidence en ce qui concerne les PM10, et notamment une relation à la limite du seuil de significativité avec la mortalité pour l'ensemble des causes respiratoires d'une part et avec la mortalité par cancer du poumon dans les quartiers les plus favorisés d'autre part. De plus, les PM10 sont également liées, de façon significative, à une hausse des hospitalisations pour l'ensemble des causes cardiovasculaires dans les quartiers défavorisés, hausse à la limite du seuil de significativité pour les hospitalisations pour infarctus dans l'ensemble de la zone d'étude. Notons que les particules sont émises par d'autres sources que celles industrielles, et en particulier par le trafic routier. Ici à Nouméa, on constate que les plus fortes concentrations de PM10 sont mesurées dans les quartiers les plus peuplés. L'effet des particules sur la santé a été abondamment étudié depuis une trentaine d'années, que ce soit des effets à court ou, comme dans cette étude, à long terme. De manière générale, on estime que 3% des décès pour causes cardiopulmonaires et 5% des décès par cancer du poumon sont attribuables aux particules ambiantes (Fang et al, 2013). Une des premières études américaines de cohorte, celle dite des « six villes » a montré qu'à un différentiel moyen de PM2,5 (soit la part la plus fine des PM10) de 24,5 µg/m³ entre des villes plus ou moins polluées, correspondait un risque relatif significatif de mortalité toutes causes de 1,17 après 15 ans de suivi (Dockery et al, 1993). La méta-analyse récente des 22 cohortes européennes montre par ailleurs que l'effet significatif des PM2,5 sur la mortalité persiste après inclusion des seuls européens exposés à des concentrations inférieures à la valeur limite de 25 µg/m³ (Beelen et al, 2014). L'effet sur la morbidité cardiovasculaire (ici étudiée au travers des hospitalisations) a également été mis en évidence. Miller et al. (2007) montrent qu'une augmentation de 10 µg/m³ de la moyenne annuelle des PM2,5 est associée à une augmentation de 21 % des infarctus et de 35% des accidents vasculaires cérébraux chez 66 000 femmes des 36 zones urbaines des Etats Unis suivies 6 ans en moyenne. Cette étude n'avait pas pour objectif (ni les moyens) d'étudier les effets des différents composants des particules (en particulier les métaux). Notons qu'une méta-analyse récente (14 cohortes dans 8 pays européens) à propos du lien entre cancer du poumon et PM, attribue une responsabilité potentiellement importante aux particules contenant du soufre, mais aussi du nickel (Raaschou-Nielsen et al., 2015).

➤ **NO₂.** Aucune relation entre les indicateurs de santé étudiés et le NO₂ n'a été mise en évidence. Les quartiers avec les concentrations les plus élevées sont ceux concernés par des zones industrielles (Doniambo, Ducos Industriel) et par le passage d'axes routiers à fort trafic. Rappelons que la spatialisation du NO₂ n'a pas été faite avec les mêmes outils que celle des PM et du SO₂ et que la période de calcul se limite à 2009-2012, ce qui correspond à celle des campagnes temporaires de mesure par tubes passifs réalisées par Scal-Air (absence de valeurs pour l'année 2008). Cependant, des comparaisons ont été réalisées entre couples d'années (ASPA, 2014) montrant une constance temporelle dans la géographie de la pollution au dioxyde d'azote. En d'autres termes, la probabilité que les quartiers les plus pollués sur la période 2009-2012 l'étaient également en 2008 est très élevée. Des effets sanitaires ont été associés au NO₂ dans la littérature. Cependant, le fait qu'il soit directement responsable des effets à long terme ou indirectement en tant qu'un indicateur d'autres

polluants, en particulier des particules, reste discuté. A noter cependant qu'une méta-analyse récente a montré que le NO₂ aurait un effet indépendant des particules (Faustini et al, 2014).

➤ **Défaveur.** Certains des résultats (hospitalisations pour AVC en relation avec le SO₂, et hospitalisations pour l'ensemble des causes cardiovasculaires en relation avec les PM10) sont obtenus uniquement dans les quartiers les plus défavorisés. Les populations les plus défavorisées peuvent être plus affectées par l'exposition à la pollution via deux mécanismes : exposition plus importante d'une part, et susceptibilité plus grande du fait d'un moins bon état de santé et/ou de comportements à risque d'autre part. Concernant l'exposition, à Nouméa, l'indice de défaveur est fortement et positivement lié à la moyenne de SO₂ indiquant en effet que des populations défavorisées sont plus exposées au SO₂, mais la corrélation est inverse, et plus faible, avec les PM10. Ce dernier point s'explique par le fait que l'exposition aux PM10 prédomine en lien avec le trafic dense, en centre-ville, où habite une population plus favorisée. Si beaucoup d'études s'accordent sur le fait que les populations défavorisées sont plus vulnérables aux effets de la pollution (Deguen et al., 2010 ; Forastière et al., 2007 ; Pope et al., 2002), certaines ne retrouvent pas ce résultat (Bateson et al., 2004), voire un résultat inverse (Zeka et al., 2006). Dans notre étude, seule la relation entre décès par cancer du poumon et PM10 est significative uniquement dans les quartiers favorisés.

Evaluation de l'exposition

L'exposition de la population dans cette étude est estimée au travers de trois polluants mesurés en routine par le réseau Scal-Air, alors que celle-ci est exposée à un cocktail de polluants. Ceci constitue une limite en regard du nombre potentiellement plus important de polluants émis par les différentes sources de la zone d'étude, comme par exemple les BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène et xylène) qui ont fait l'objet de campagnes ponctuelles de mesures, ou le nickel (mesuré depuis 2014 avec des préleveurs de poussières de type Partisol) mais pour lesquels l'échantillonnage des prélèvements ne permet pas la réalisation à court terme de cartes de pollution. Les trois polluants retenus ici le sont à titre de traceurs : le SO₂ pour la pollution industrielle, et les particules et le NO₂ pour la pollution liée à la fois au trafic et aux émissions industrielles. Les quelques relations retrouvées avec les particules et le SO₂ sont le reflet de l'effet de la pollution émise, prise dans sa globalité, sur la zone d'exposition.

Une des forces de l'étude est que l'exposition aux polluants se base sur une modélisation des concentrations pour les années 2008 à 2012. Pour cette étude, le niveau d'exposition de chaque quartier a été constitué à partir des concentrations annuelles moyennes calculées à l'aide des données spatialisées. Des erreurs et des biais peuvent se produire à chaque étape de la modélisation. Cependant, les modèles fournis ont été validés par des campagnes de mesures *ad hoc*, et des procédures de corrections et d'ajustements ont été mises en œuvre pour limiter les biais.

La mise en œuvre du modèle de simulation de la qualité de l'air ADMS-Urban, acquis récemment par Scal-Air, permettra à l'avenir de renforcer la capacité de production de données géoréférencées de qualité de l'air, pour un nombre accru d'indicateurs de pollution, au bénéfice d'études épidémiologiques sur le territoire néo-calédonien.

Forces et limites de l'étude

Cette étude de type écologique géographique a un profil novateur, dont le principal avantage est de pouvoir utiliser des données sanitaires agrégées au niveau d'unités géographiques (ici les quartiers)

Etude écologique géographique à Nouméa

et recueillies en routine, comme le sont les données de mortalité, d'hospitalisations ou de délivrance de médicaments. Les données de santé (SMR et SIR) ont été estimées en fonction des quartiers de résidence des personnes concernées. La validité des résultats repose cependant sur une certaine stabilité résidentielle des patients pendant la période d'étude (aucune prise en compte des déménagements entre quartiers au cours de la période d'étude). Les systèmes d'enregistrement des cas de décès, d'hospitalisations et de délivrance de médicaments utilisés dans ce travail peuvent également être sources de biais dans le cadre d'études épidémiologiques. Cependant, il s'agit de systèmes qui reposent sur un recueil exhaustif des données et sur une standardisation des méthodes et outils mis en œuvre. En revanche, un nombre plus ou moins important d'évènements de santé n'a pu être géocodé (en particulier pour les fichiers de délivrance de médicaments et de longues maladies) et des erreurs de classification ne sont pas exclues. Toutefois, les biais potentiels dus aux erreurs de classement, s'ils ne sont pas en lien avec l'exposition, sont dits non-différentiels et entraînent plutôt une sous-estimation des relations santé-pollution. En ce qui concerne l'exposition, l'utilisation de valeurs moyennes pour chaque unité géographique peut provoquer un effet de dilution lorsque ces valeurs sont hétérogènes. Cet effet de dilution pour l'exposition a été limité en calculant les concentrations moyennes estimées uniquement sur la partie urbanisée des quartiers.

Une source d'erreur est représentée par le biais écologique lié à la présence d'une possible hétérogénéité au sein des unités géographiques, dû à un facteur de confusion non pris en compte. Nos modèles ont été ajustés sur le niveau socioéconomique évalué à l'échelle du quartier par un indice de défaveur. Dans la littérature, les études sur les relations entre inégalités sociales, santé et pollution atmosphérique utilisent, soit plusieurs variables socio-économiques, soit des indices synthétiques de défaveur. Les variables socio-économiques les plus utilisées sont le revenu moyen ou la part de personnes en dessous du seuil de pauvreté, le niveau d'éducation, le pourcentage de chômeurs, le pourcentage d'ouvriers et le statut matrimonial. Certaines études utilisent des indices de référence construits par approche additive avec pondération, comme ceux de Townsend (Bell et al., 2007). Mais le plus souvent les indices synthétiques sont construits spécifiquement à partir de plusieurs variables socioéconomiques, le plus souvent par une approche factorielle (Havard et al., 2008). Pour cette étude locale, nous avons jugé pertinent de construire un indice spécifique. Cet indice confirme l'hétérogénéité socioéconomique de Nouméa, alors que les deux communes limitrophes, avec une défaveur moyenne plus élevée qu'à Nouméa, forment des ensembles plus homogènes. L'indice de défaveur est fortement et positivement lié à la moyenne de SO_2 . A noter que la corrélation est négative avec le NO_2 et les PM_{10} . Pour ce dernier cas de figure, cela peut s'expliquer par le fait que les quartiers les plus aisés sont également les plus denses et les plus concernés par de fortes concentrations. Ainsi, en dehors du cas du SO_2 , les quartiers les plus exposés ne sont donc pas toujours les plus défavorisés, cela va dans le sens des conclusions de Laurent et Déguen (Laurent et al., 2007 ; Déguen et al., 2010).

D'autres facteurs peuvent modifier les indicateurs de santé comme les déterminants de l'accès et du recours aux soins. Le recours aux soins est aussi étroitement associé au niveau socioéconomique des patients (Auvray et al., 2001) mais aussi au contexte socioéconomique de résidence (Chaix et al., 2005). Une prise en compte indirecte au travers de l'indice de défaveur, d'une part, et un contrôle de l'autocorrélation spatiale des taux standardisés entre quartiers d'autre part, ont certainement permis de limiter le biais lié à un recours aux soins potentiellement différent entre les zones d'exposition.

Enfin, dans les études écologiques, les facteurs de risques individuels tels que l'obésité, le taux de cholestérol, la sédentarité, le tabagisme, l'hypertension artérielle, qui peuvent être impliqués dans les différentes pathologies étudiées, ne peuvent pas être pris en compte puisque les données sanitaires ne sont pas recueillies au niveau individuel. Cependant, vu la relation entre plusieurs de ces facteurs de risque, dont le tabagisme, et la catégorie socioprofessionnelle (Moquet, 2008), l'ajustement de l'analyse sur l'indice de défaveur a pu indirectement limiter les biais.

Sur un plan statistique, les modélisations réalisées pour cette étude locale sur un nombre restreint de quartiers (ici, 46) ne sont pas optimales, notamment en termes de puissance statistique. Ainsi certaines interactions sont significatives pour les hospitalisations toutes causes, mais ne le sont plus pour les hospitalisations pour des causes spécifiques dont les effectifs sont plus faibles. L'hétérogénéité spatiale en termes de sur-dispersion, mais aussi l'autocorrélation spatiale ont été prises en compte dans les modèles statistiques employés. Par ailleurs, cette étude a concerné plusieurs indicateurs avec le souci d'une vision complète de la santé en lien avec la pollution atmosphérique sur la zone d'étude. En conséquence de nombreux tests statistiques ont été effectués et, dans cette situation, la probabilité de mettre en évidence un excès «statistiquement significatif» selon les critères habituellement utilisés ($p < 0,05$), mais qui soit en réalité attribuable au hasard, est augmentée. Enfin, et plus généralement, les associations statistiques observées dans les études épidémiologiques ne traduisent pas toujours un lien de causalité entre pollution et santé. Les études écologiques apportent au raisonnement causal des arguments plus faibles que les études sur des données individuelles. Seule l'accumulation de résultats concordants, issus de plusieurs études, permet de construire un faisceau d'arguments qui orientent, ou non, vers ce lien de causalité.

En conclusion, malgré les réserves inhérentes à tout travail épidémiologique et en accord avec les publications scientifiques internationales sur le sujet, les différences de concentrations en polluant, en particulier des PM10, entre les quartiers de l'agglomération de Nouméa pourraient expliquer des différences constatées pour certains indicateurs sanitaires. En effet, de légers excès de mortalité et d'hospitalisations pour certaines causes, notamment cardiovasculaires, sont mis en avant dans les quartiers les plus pollués, et ce malgré des teneurs inférieures aux seuils réglementaires européens.

5 RÉFÉRENCES

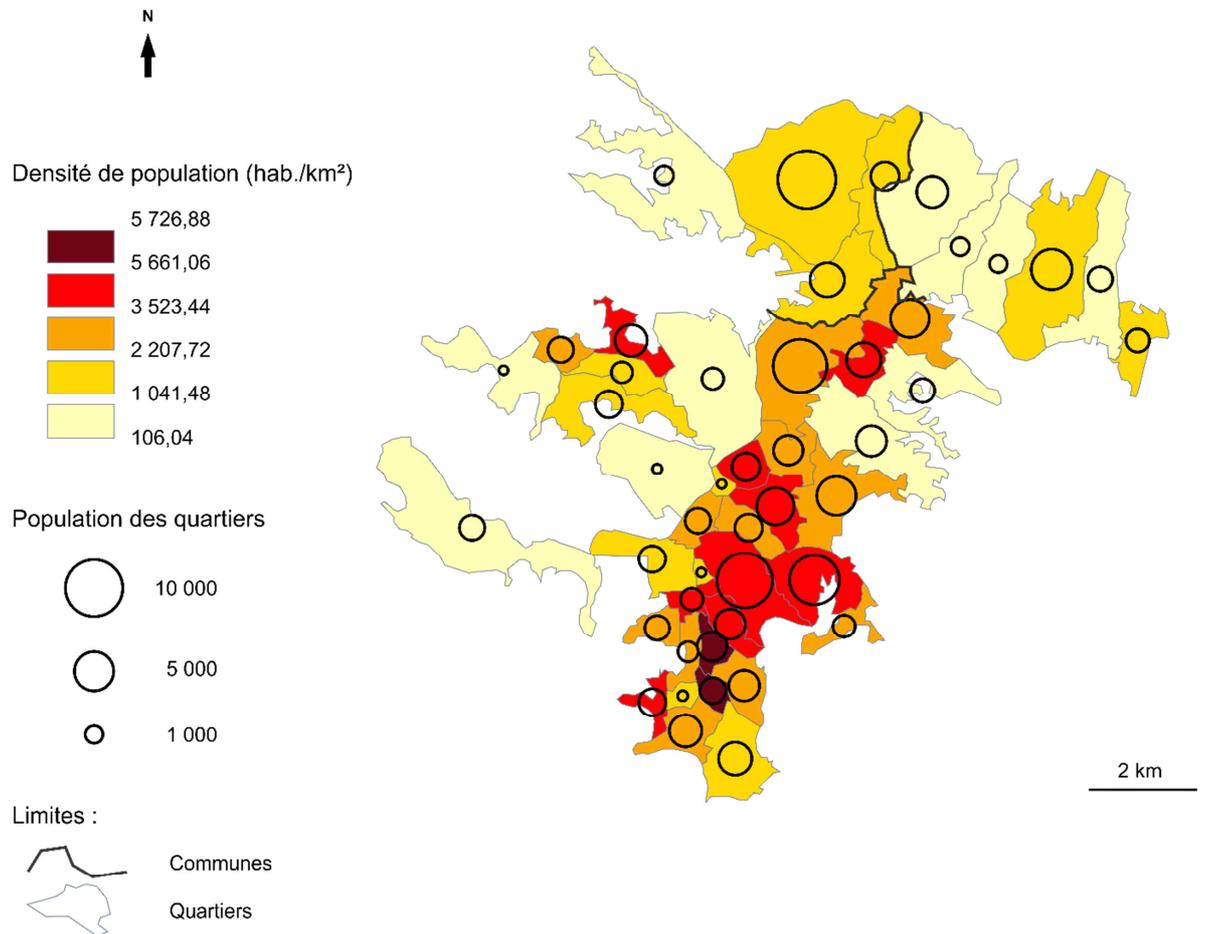
- ASPA, 2012 : Analyse statistique exploratoire des données issues des campagnes de mesure temporaire réalisées par Scal-Air sur l'agglomération de Nouméa. Projet d'étude air et santé sur l'aire urbaine de Nouméa, Ref 12090702-ID, 20 p.
- ASPA, 2013 : Constitution et exploitation des BD SIG pour les besoins des travaux de spatialisation des émissions et concentrations de polluants. Projet d'étude air et santé sur l'aire urbaine de Nouméa, Ref 13011001-ID, 28 p.
- ASPA, 2014 : Travaux de spatialisation des concentrations de polluants atmosphériques (NO₂ et SO₂) à l'aide de l'outil géostatistique. Projet d'étude air et santé sur l'aire urbaine de Nouméa, Ref 14090501-ID, 28 p.
- Atkinson RW, Bremner SA, Anderson HR, Strachan DP, Bland JM, de Leon AP, 1999 : Short term associations between emergency hospital admissions for respiratory and cardiovascular disease and outdoor air pollution in London. Arch Environ Health, 54, 398-411.
- Auvray L, Dumesnil S, Le Fur P, 2001 : Santé, soins et protection sociale en 2000. Paris, Credes, 198 p.
- Aylin P, Bottle J, Wakefield J, Jarup L, Elliott P, 2001 : Proximity to coke works and hospital admissions for respiratory and cardiovascular disease in England and Wales. Thorax, 56, 229-33
- Bateson TF, Schwartz J, 2004 : Who is sensitive to the effects of particulate air pollution on mortality ? Epidemiology, 15, 143-9.
- Beelen R, Raaschou-Nielsen O, Stafoggia M, et al., 2014 : Effects of long term exposure to air pollution on natural cause mortality : an analysis of 22 European cohorts within the multicenter ESCAPE project. Lancet, 383, 785-95.
- Béguin M, Pumain D, 2007 : La représentation des données géographiques : statistique et cartographie. 2ème édition, Ed. Armand Colin, 192 p.
- Bell N, Schuurman N, Oliver L, Hayes MV, 2007 : Towards the construction of place-specific measures of deprivation : a case study from the Vancouver metropolitan area. Cana Geogr, 51 (4), 444-61.
- Breslow & Day, 1987 : Statistical methods in cancer research, Volume II – the design and analysis of cohort studies. IARC Scientific publication No82.
- Chaix B, Chauvin P, 2005 : Influence du contexte de résidence sur les comportements de recours aux soins. L'apport des méthodes d'analyse multiniveaux et spatiales. Bull Info Eco Santé Irdes, 104, 6 p.
- Dab W, Ségala C, Dor F, Festy B, Lameloise P, Le Moullec Y, et al, 2001 : Air pollution and health : correlation or causality? The case of the relationship between exposure to particles and cardiopulmonary mortality. J Air Waste Manag Assoc, 51, 220-35.
- Déguen S, Zmirou-Navier D, 2010 : Social inequalities resulting from health risks related to ambient air quality. A European review. Eur J Public Health, 20, 27-35.
- Dockery DW, Pope CA, Xu X, Spengler JD, Ware JH, Fay ME, et al., 1993 : An association between air pollution and mortality in six US cities. N Engl J Med, 329, 1753-9.
- Fang Y, Naik V, Horowitz LW, Mauzerall DL, 2013 : Air pollution and associated human mortality : the role of air pollutant emissions, climate change and methane concentration increases from the preindustrial period to present. Atmos Chem Phys, 13, 1377-94.

- Faustini A, Rapp R, Forastiere F, 2014 : Nitrogen dioxide and mortality : review and meta-analysis of long term studies. *Eur Respir J*, 44, 744-53.
- Filleul L, Medina S, Cassadou S, 2003 : La pollution atmosphérique particulaire urbaine : de l'épidémiologie à l'impact sanitaire en santé publique. *Rev Epidemiol Sante Publique*, 51, 527-42.
- Forastiere F, Stafoggia M, Tasco C, Picciotto S, Agabiti N, Cesaroni G and Perucci CA, 2007 : Socioeconomic status, particulate air pollution, and daily mortality : Differential exposure or differential susceptibility. *Am J Ind Med*, 50, 208–16.
- Frye C, Hoelscher B, Cyrus J, Wjst M, Wichman H, Heinrich J, 2003 : Association of lung function with declining ambient air pollution. *Env Health Perspect*, 111, 383-7.
- Fung KY, Lugnaah IN, Gorey KM, 2007 : Impact of air pollution on hospital admissions in Southwestern Ontario, Canada : generating hypotheses in sentinel high-exposures places. *Env Health*, 6, article 18.
- Gorla S, Stempellet M, de Crouy-Chanel P, 2011 : Introduction aux statistiques spatiales et aux systèmes d'information géographique en santé environnement. Application aux études écologiques. Résultats 2010. Institut de Veille Sanitaire, 65 p.
- Havard S, Deguen S, Bodin J, Louis K, Laurent O, Bard D, 2008: A small-area index of socioeconomic deprivation to capture health inequalities in France. *Soc Sci Med*, 67(12), 2007-16
- InVS, 2011 : Pollution atmosphérique et hospitalisations pour pathologies cardiovasculaires et respiratoires, et pour cancers dans le secteur de l'Étang de Berre, 2004-2007. InVS, 65 p.
- ISEE, 2009 : Atlas démographique du Grand Nouméa – Recensement de la population de 2009. ISEE, 37 p.
- Jenks GF, 1967 : The Data Model Concept in Statistical Mapping. *International Yearbook of Cartography*, 7, 186–90.
- Joly D, Brossard T, Cardot H, Cavailles J, Hilal M, Wavresky P, 2010 : Les types de climats en France, une construction spatiale. *Cybergeo*, article 501, 32 p. (en ligne).
- Kloog Coull BA, Zanobetti A, Koutrakis P, Schartz JD. Acute and chronic affects of particles on hospital admissions in New England. *PLoS ONE* 2012;7:e34664.
- Lalloué B, Monnez JM, Padilla C, Kihal W, Le Meur N, Zmirou-Navier D, Deguen S, 2013 : A statistical procedure to create a neighborhood socioeconomic index for health inequalities analysis. *Int J Equity Health*, 12:21.
- Laurent O, Bard D, Filleul L, Ségala C, 2007 : Effect of socioeconomic status on the relationship between atmospheric pollution and mortality. *J Epidemiol Community Health*, 61, 665-75.
- Liddell FD, 1984 : Simple exact analysis of the standardised mortality ratio. *J Epidemiol Community Health*, 38(1), 85-8.
- McLennan D, Barnes H, Noble M, Davies J, Garratt E, Dibben C, 2011 : The English Indices of Deprivation 2010. General report, Department for Communities and Local Government, 145 p.
- Miller KA, Siscovick DS, Sheppard L et al., 2007 : Long-term exposure to air pollution and incidence of cardiovascular events in women. *N Engl J Med*, 356, 447-58.
- Moquet MJ, 2008. Inégalités sociales de santé : des déterminants multiples. *La Santé de l'Homme*, 2008 ; 397 :17-19.
- Nafstad P, Håheim L, Wisløff T, Gram F, Oftedal B, Holme I, Hjermann I, Leren P, 2004 : Urban Air Pollution and Mortality in a Cohort of Norwegian Men. *Environ Health Perspect*, 112, 610–5
- Numtech, 2014a : Rapport Notes d'hypothèses. Ref, 192.0714/EQA, 26 p.
- Numtech, 2014b : Rapport Résultats. Ref, 192.0714/EQA, 11 p.

- Padilla C, Lalloué B, Zmirou-Navier D, Deguen S, 2011 : Mortalité infantile, défaveur et proximité aux industries polluantes : une analyse spatiale conduite à fine échelle (agglomération de Lille, France). *ERS*, 10(3), 216-21.
- Padilla C, Deguen S, Lalloué B, Blanchard O, Beaugard C, Troude F, Zmirou-Navier D, Vieira VM, 2013 : Cluster analysis of social and environment inequalities of infant mortality : A spatial study in small areas revealed by local disease mapping in France. *Sci Total Environ*, 454-5, 433-41.
- Pampalon R, Hamel D, Gamache P, Raymond G, 2009 : A deprivation index for health planning in Canada. *Chronic Dis Can*, 29(4), 178-91.
- Pascal L, Pascal M, Stempfelet M, Gorla S, Declercq C, 2013 : Ecological study on hospitalizations for cancer, cardiovascular and respiratory diseases in the industrial area of Etang-de-Berre in the South of France. *J Envir and Public health*, article IF 328737, 13 p.
- Payne RA, Abel GA, 2012 : UK indices of multiple deprivation : a way to make comparisons across constituent countries easier. *Health Stat Q*, 53, 1-16.
- Pope CA, Burnett RT, Thun MJ, et al., 2002 : Lung cancer, cardiopulmonary mortality and long-term exposure to fine particulate air pollution. *J Am Med Assoc*, 287, 1132-41.
- Pope CA, Dockery DW, 2006 : Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. *J Air Waste Manag Assoc*, 56, 709-42.
- Raaschou-Nielsen O, Beelen R, Wang M et al., 2015 : Particulate matter air pollution components and risk for lung cancer. *Envir Int*, 87, 66-73.
- Ren C, Tong S, 2008. Health effects of ambient air pollution – recent research development and contemporary methodological challenges. *Environ Health* , 7, 56.
- SIRS, 2012 : Suivi de l'évolution des paysages en Province Sud. Rapport de production pour l'OEIL, 38 p.
- Statistics for Wales, 2011 : Welsh Index of Multiple Deprivation 2011 : Summary report. Welsh Government, 76 p.
- Sun Q, Hong X, Wold LE, 2010. Cardiovascular effects of ambient particulate air pollution exposure. *Circulation*, 121, 2755-65.
- Zanobetti A, Canner MJ, Stone PH, Schwartz J, et al., 2003. : The temporal pattern of respiratory and heart disease mortality in response to air pollution. *Environ Health Perspect*, 111, 1188-93.
- Zanobetti A, Schwartz J, Salomi E, et al., 2004. Ambient pollution and blood pressure in cardiac rehabilitation patients. *Circulation*, 110, 2184-89.
- Zeka A, Zanobetti A, Schwartz J, 2006 : Individual-level modifiers of the effects of particulate matter on daily mortality. *Am J Epidemiol*, 163, 849-59.

6 ANNEXES

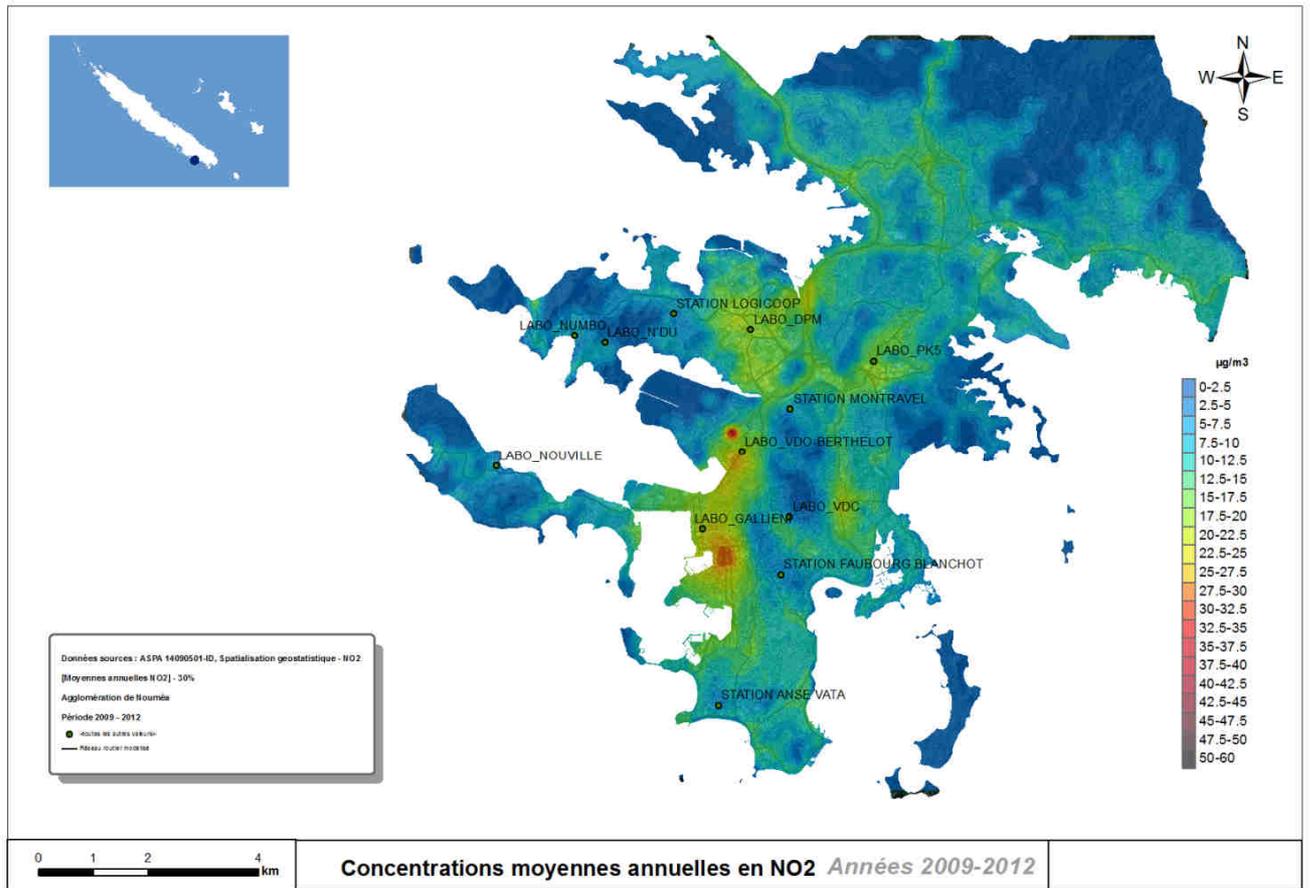
6.1 Caractéristiques démographiques des quartiers sur la zone de Nouméa



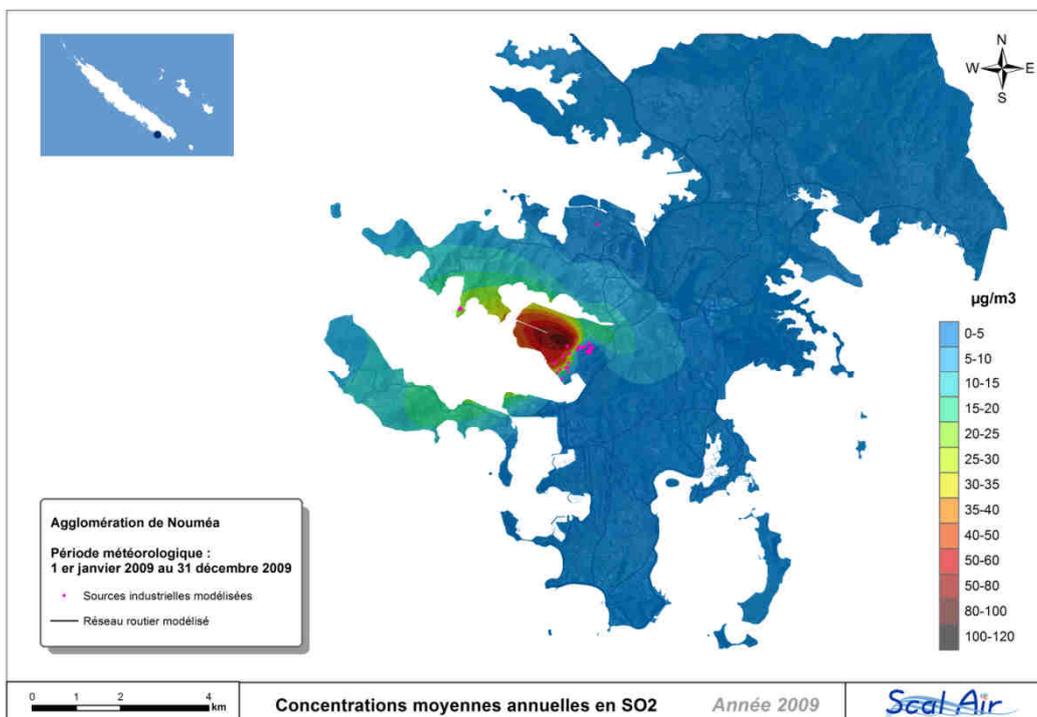
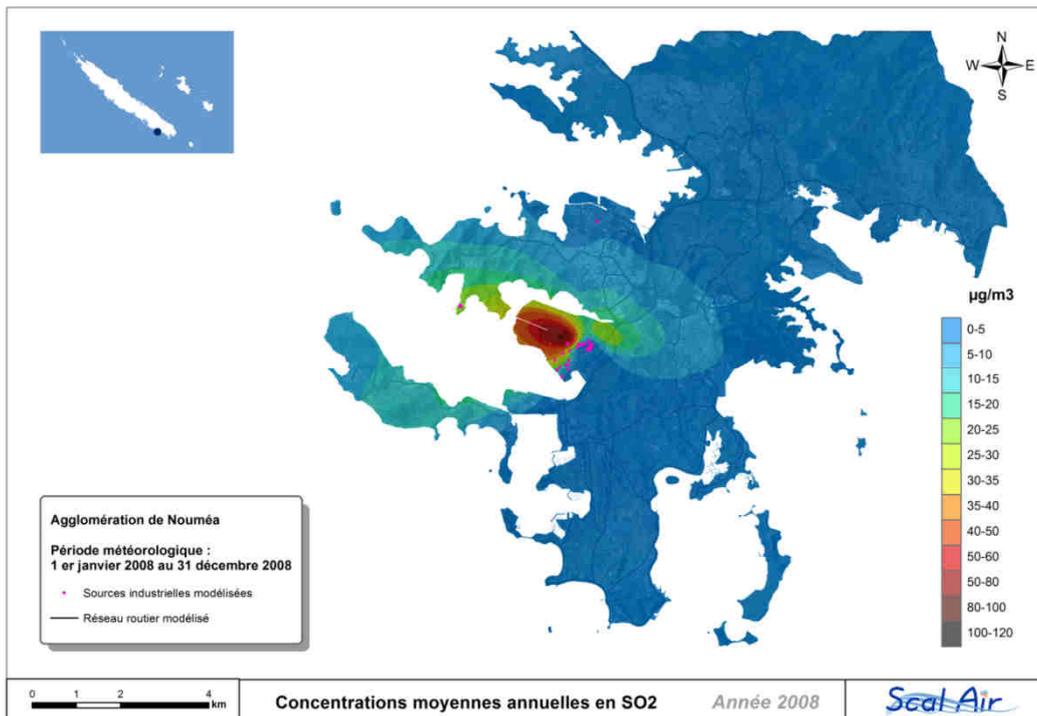
(Source des données : ISEE - Recensement de 2009)

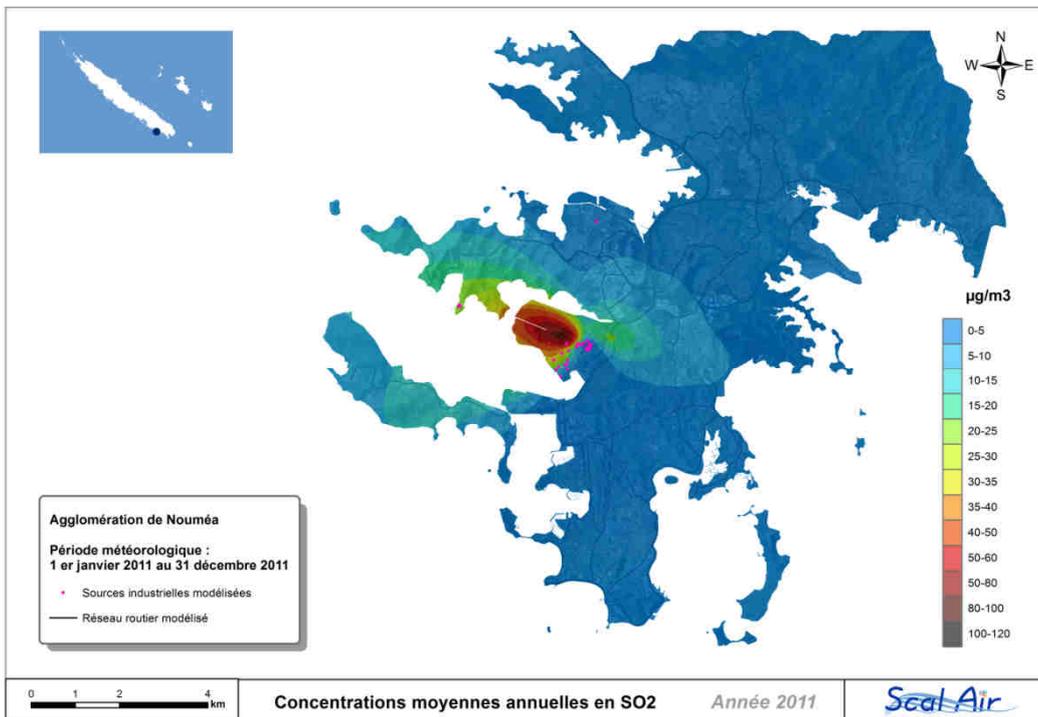
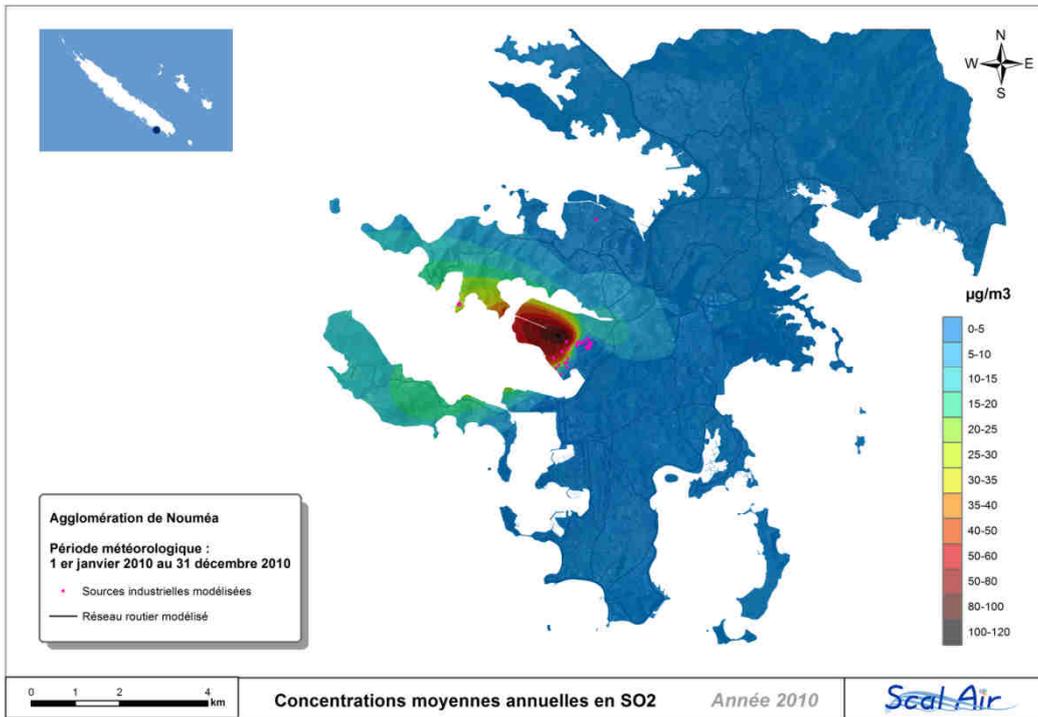
6.2 Cartes de pollution

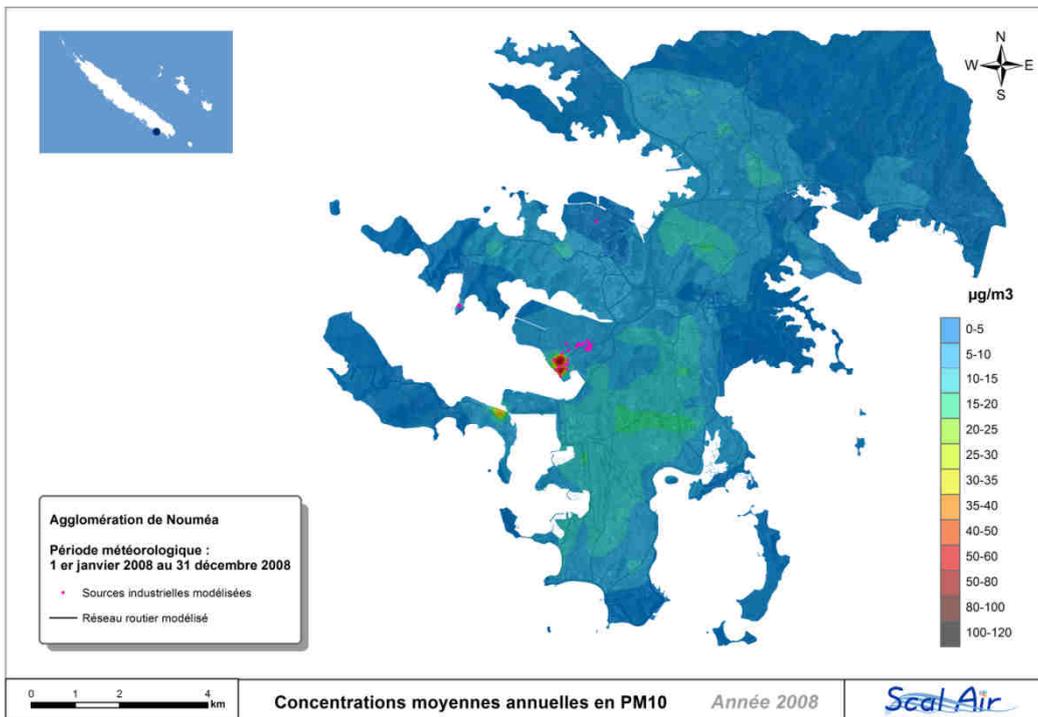
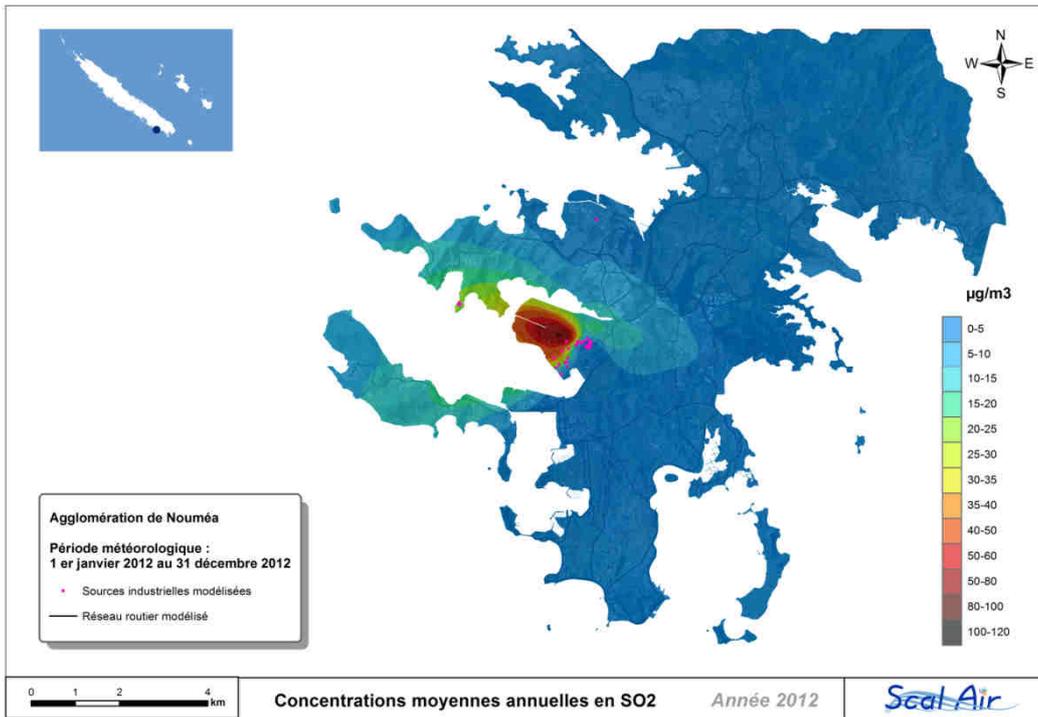
Modélisation et cartographie du NO₂ (travaux de l'ASPA)

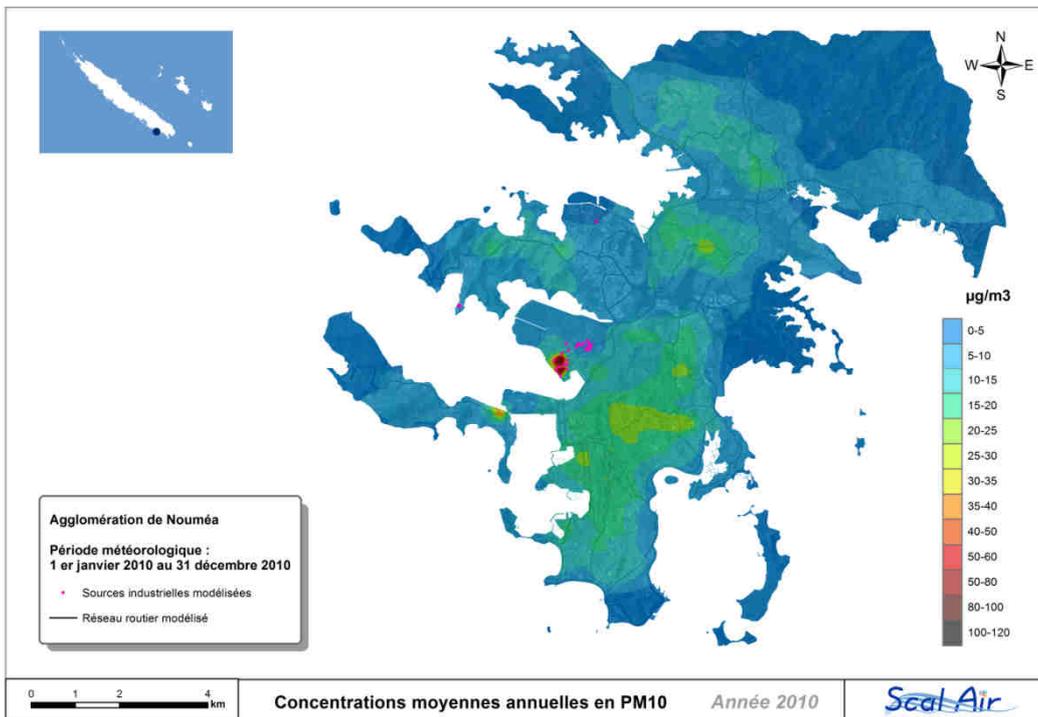
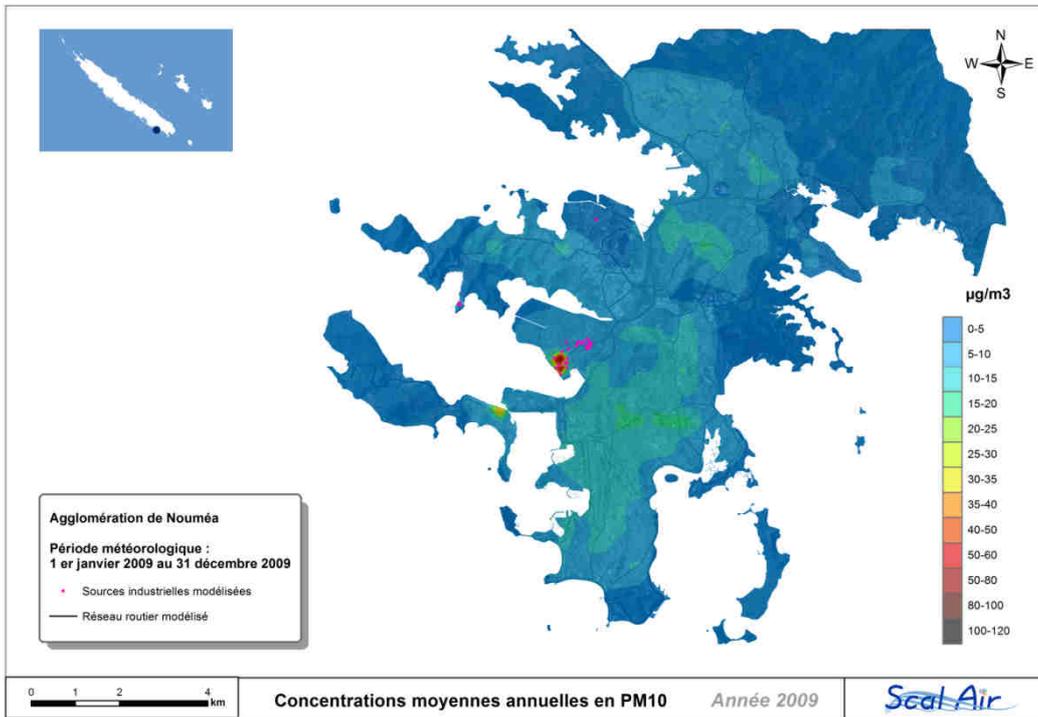


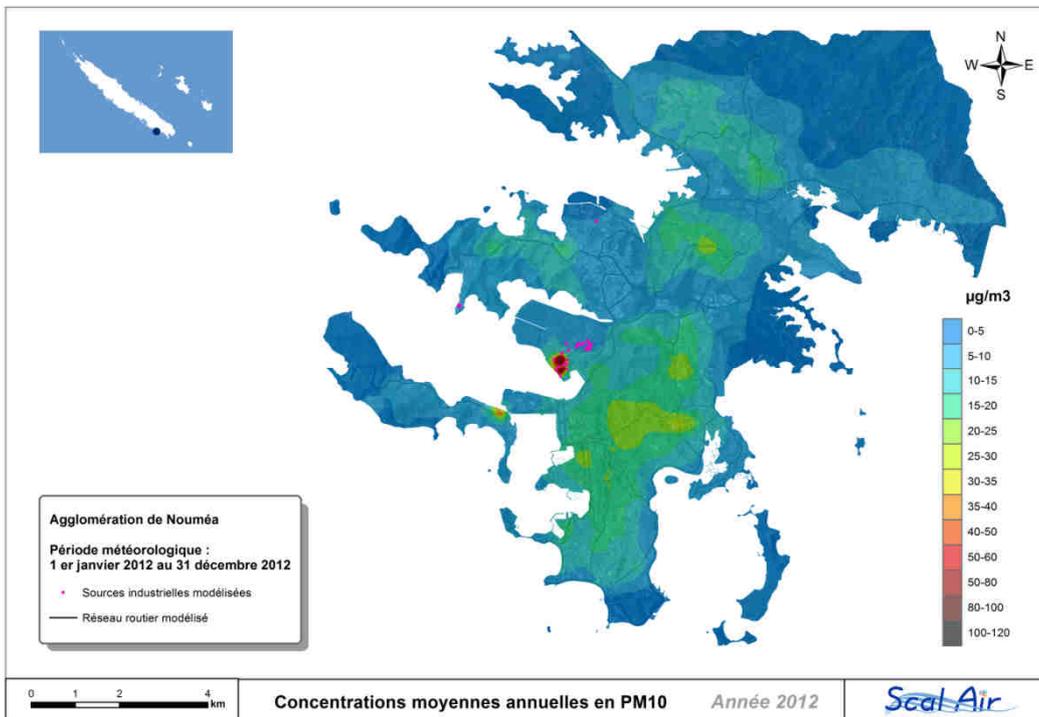
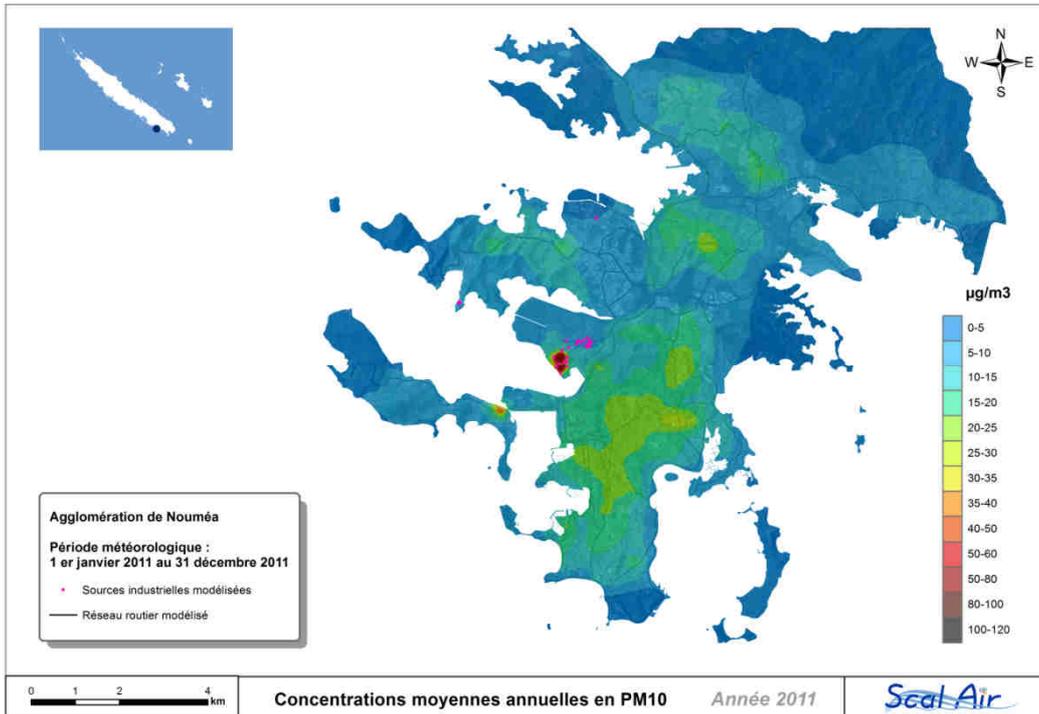
Modélisation et cartographie du SO₂ et des PM₁₀ (travaux de Numtech)











6.3 Niveaux de pollution par quartier

Nom du quartier	Moyenne des concentrations en NO ₂	Moyenne des concentrations en SO ₂	Moyenne des concentrations en PM10
Aérodrome	11,2	4,3	12,2
Anse Vata	10,1	0,7	10,5
Artillerie	17,6	1,0	12,5
Auteuil	12,2	1,9	7,5
Baie des Citrons	12,4	0,9	12,2
Boulari	10,8	1,4	4,7
Centre-Ville	21,8	1,0	14,0
Cœur de Ville	10,3	2,0	9,7
Doniambo	20,0	5,9	12,3
Ducos	9,3	13,1	8,3
Ducos Industriel	15,2	7,4	9,4
Dumbéa-sur-Mer	8,8	1,3	3,7
Faubourg Blanchot	9,3	1,0	15,5
Haut-Magenta	6,1	3,6	15,7
Kaméré	9,2	4,6	9,9
Koutio	10,6	1,9	9,5
La Conception	9,2	1,9	5,3
Logicoop	7,7	7,4	10,1
Magenta	11,9	2,5	12,4
Montagne Coupée	12,6	10,6	10,8
Montravel	8,9	10,7	13,2
Motor Pool	13,0	0,6	14,7
N'Gea	11,4	0,8	9,7
Normandie	11,2	2,2	8,9
Nouvelle	7,3	12,4	5,5
Numbo-Koumourou	9,9	19,8	5,3
Orphelinat	16,5	0,8	15,2
Ouémo	9,0	2,1	5,6
PK4	11,9	5,6	13,7
PK6	10,6	2,8	6,1
PK7	11,0	2,7	10,7
Pont des Français	10,6	2,2	7,9
Portes de Fer	13,0	5,1	16,6
Quartier Latin	19,2	0,9	17,0
Receiving	13,0	0,7	12,8
Rivière Salée	10,2	3,1	12,9
Robinson	9,0	1,7	4,9
Saint-Michel	11,0	1,2	4,6
Tina	9,2	1,8	5,6
Tindu	5,2	8,7	10,5
Trianon	13,1	0,7	17,0
Val Plaisance	11,8	0,7	9,6
Vallée des Colons	9,4	1,9	16,7
Vallée du Génie	11,3	0,9	16,0
Vallée du Tir	21,1	1,7	13,7
Yahoué	8,8	2,0	5,4

6.4 Indice de défaveur par quartier

Quartier	P- AucunDipl (%)	P- SupNScol (%)	P-Cadres supérieurs (%)	P- Ouvriers (%)	P- Chômage (%)	P-Clim (%)	P- Internet (%)	Indice de défaveur
Orphelinat	5,6	64,1	39,5	3,6	1,9	77,2	78,2	-4,00
Baie des Citrons	4,4	63,2	30,1	3,8	3,7	85,9	80,4	-3,94
Ouémo	4,8	65,9	29,3	5,3	2,9	75,4	78,6	-3,88
Artillerie	3,3	63,9	25,0	3,2	3,9	71,0	83,3	-3,81
Val Plaisance	5,4	65,5	29,4	5,1	3,5	76,5	78,0	-3,74
Receiving	5,0	62,0	45,0	2,0	3,1	54,5	80,9	-3,74
Tina	6,8	59,4	24,0	4,5	3,3	69,8	82,3	-3,43
Anse Vata	7,3	59,9	27,3	5,4	3,7	74,0	74,5	-3,26
Trianon	9,2	51,2	24,1	7,5	3,9	61,8	73,7	-2,72
N'Géa	8,9	52,9	20,0	9,6	4,2	57,5	67,9	-2,55
Motor Pool	7,7	55,7	19,0	5,5	5,2	56,4	72,5	-2,52
Vallée du Génie	15,3	30,7	25,7	13,3	0,8	61,0	65,9	-2,31
Vallée des Colons	14,9	41,5	19,1	11,5	5,1	55,3	59,6	-2,04
Quartier Latin	7,3	49,6	13,8	13,9	5,3	56,7	56,2	-1,90
Faubourg Blanchot	14,4	39,5	16,7	11,8	6,3	52,4	57,9	-1,61
Portes de Fer	11,5	41,4	15,4	15,7	5,8	51,9	55,0	-1,44
Magenta	12,6	40,4	16,4	16,2	5,7	43,3	55,4	-1,35
Haut-Magenta	18,3	42,7	15,5	17,7	5,3	46,1	52,3	-1,27
Pont des Français	18,2	22,2	9,1	18,0	5,6	41,7	51,0	-0,53
P,K, 6	18,8	32,4	14,8	18,6	11,2	50,5	52,9	-0,31
Aérodrome	14,8	35,0	10,9	18,5	6,9	28,1	50,4	-0,30
Centre-Ville	18,8	38,7	16,4	19,6	9,1	44,4	42,5	-0,30
Dumbéa-sur-Mer	20,1	37,7	16,3	19,8	8,4	40,8	49,1	-0,24
P,K, 7	22,8	27,2	9,9	19,0	6,7	43,5	44,6	-0,04
Robinson	22,9	25,4	9,1	21,7	9,1	39,4	47,3	0,49
Yahoué	22,7	21,3	8,2	24,2	7,2	39,6	43,9	0,56
Auteuil	25,0	21,5	7,2	27,0	7,9	40,1	47,4	0,72
Boulari	23,4	20,3	8,0	23,0	5,8	33,3	41,0	0,75
La Conception	26,7	17,3	5,6	23,4	8,9	29,6	46,9	1,35
Logicoop	22,5	14,5	5,0	27,1	7,8	36,4	37,4	1,39
Saint-Michel	27,7	22,0	4,0	25,7	9,8	39,4	42,5	1,49
Koutio	24,7	18,1	5,8	30,1	10,3	31,6	37,8	1,64
Normandie	27,7	19,8	5,4	30,7	11,1	19,9	33,1	1,98
P,K, 4	20,0	18,8	4,6	31,1	11,2	19,5	26,7	2,04
Montagne Coupée	31,6	15,1	2,0	31,0	8,8	31,0	29,4	2,20
Rivière Salée	28,6	14,8	4,5	33,3	13,0	25,0	29,1	2,57
Doniambo	19,1	12,6	0,0	51,0	9,1	26,5	27,2	2,58
Vallée du Tir	31,4	19,0	6,4	35,3	12,9	16,4	21,3	2,61
Nouvelle	39,1	11,7	8,0	35,1	17,7	17,8	10,7	3,11
Numbo-Koumourou	40,7	13,4	6,5	34,4	16,7	15,7	15,4	3,12
Ducos	37,7	11,4	4,0	37,7	12,7	18,9	23,4	3,15
Kaméré	34,6	8,6	2,6	38,4	12,6	11,0	16,8	3,43

Cœur de Ville	40,5	10,8	4,4	42,0	18,2	11,0	15,5	3,69
Ducos Industriel	44,4	8,3	2,7	46,9	16,2	14,2	11,3	3,89
Montravel	38,7	5,9	1,4	44,1	22,7	4,4	4,6	4,11
Tindu	41,5	5,3	1,2	50,2	23,2	1,4	6,3	4,37
Zone d'étude	20,1	32,4	13,6	20,4	8,4	40,4	46,6	

P-AucunDipl	Part de "sans diplôme" dans la population de 15 ans ou plus
P-SupNScol	Part d'individus avec un niveau d'étude supérieur dans la population de 15 ans ou plus non scolarisée
P-Cadres et professions intellectuelles supérieures	Part de cadres et d'actifs exerçant des professions intellectuelles supérieures dans la population active de 25 ans ou plus
P-Ouvriers	Part d'ouvriers dans la population active de 25 ans ou plus
P-Chômage	Part de chômeurs dans la population active de 15 ans ou plus
P-Clim	Part de la population totale des ménages dont le logement est climatisé
P-Internet	Part de la population totale des ménages avec une connexion internet
<i>Source : Recensement de la population Nouvelle-Calédonie 2009, INSEE-ISEE</i>	
Indice de défaveur socioéconomique	Valeurs élevées de l'indice : fort niveau de défaveur socioéconomique et matériel élevé (quartiers les plus défavorisés)
	Valeurs faibles de l'indice : faible niveau de défaveur socioéconomique et matériel (quartiers les plus aisés)

6.5 Indicateurs sanitaires

Causes de décès	H	F	0 -14	15-64	65 et +	Total	Adresses inconnues (non comptabilisées)
PATHOLOGIES CARDIOVASCULAIRES	237	168	,	121	284	405	67
Pathologies cardiaques	169	120	,	91	198	289	53
Cardiopathies ischémiques	42	21	,	30	33	63	14
Infarctus du myocarde	38	16	,	28	26	54	13
Autres cardiopathies ischémiques	4	5	,	2	7	9	1
Troubles du rythme cardiaque	22	30	,	18	34	52	9
Autres pathologies cardiaques	105	69	,	43	131	174	30
Pathologies vasculaires	68	48	,	30	86	116	14
Accidents vasculaires cérébraux	40	33	,	18	55	73	13
Autres pathologies vasculaires	28	15	,	12	31	43	1
PATHOLOGIES RESPIRATOIRES	62	46	3	22	83	108	29
Infections respiratoires	29	26	2	6	47	55	13
Pneumopathies	28	24	1	6	45	52	12
Autres infections respiratoires	1	2	1	,	2	3	1
Asthme	2	,	,	2	,	2	,
BPCO	19	12	,	10	21	31	8
Autres pathologies respiratoires	12	8	1	4	15	20	8
TUMEUR POUMON, TRACHEE, BRONCHES	93	48	,	49	92	141	21
TOUTES CAUSES (hors accidents) DES MOINS DE 1 AN (mortalité périnatale)	11	5	16	,	,	16	21

Causes d'hospitalisations	H	F	0-14	15-64	65 et +	Total	Adresses Inconnues (non comptabilisées)
PATHOLOGIES CARDIOVASCULAIRES	3139	1932	-	2505	2566	5071	173
Pathologies cardiaques	2230	1266	-	1699	1797	3496	118
Cardiopathies ischémiques	873	373	-	667	579	1246	48
Infarctus du myocarde	200	60	-	175	85	260	15
Autres cardiopathies ischémiques	673	313	-	492	494	986	33
Troubles du rythme cardiaque	452	300	-	313	439	752	20
Autres pathologies cardiaques	905	593	-	719	779	1498	50
Pathologies vasculaires	909	666	-	806	769	1575	55
Accidents vasculaires cérébraux	428	391	-	388	431	819	38
Autres pathologies vasculaires	481	275	-	418	338	756	17
PATHOLOGIES RESPIRATOIRES	2469	1961	1313	1797	1320	4430	127
Infections respiratoires	1123	862	863	674	448	1985	67
Pneumopathies	848	669	454	640	423	1517	53
Autres infections respiratoires	275	193	409	34	25	468	14
Asthme	221	290	202	236	73	511	11
BPCO	248	149	6	171	220	397	10
Autres pathologies respiratoires	877	660	242	716	579	1537	39

Médicaments pour asthme	H	F	0-14	15-64	65 et +	Total	Adresses inconnues (non comptabilisées)
Nombre de prescriptions	11 106	14 558	3 061	17 512	5 091	25 664	49 910

6.6 SMR par quartier

Décès cardiovasculaires

Commune	Quartier	Nombre de décès attendus	Nombre de décès observés	SMR	Borne inférieure SMR	Borne supérieure SMR
Dumbéa	Auteuil	8,151	16	1,96	1,12	3,19
Dumbéa	Cœur de Ville	6,895	10	1,45	0,70	2,67
Dumbéa	Dumbéa/mer	1,575	0	0,00	0,00	1,90
Dumbéa	Koutio	23,878	22	0,92	0,58	1,39
Le Mont-Dore	Boulari	5,340	4	0,75	0,20	1,92
Le Mont-Dore	La Conception	3,240	4	1,23	0,34	3,16
Le Mont-Dore	Pont des Français	2,233	5	2,24	0,73	5,23
Le Mont-Dore	Robinson	15,837	15	0,95	0,53	1,56
Le Mont-Dore	Saint-Michel	5,045	9	1,78	0,82	3,39
Le Mont-Dore	Yahoué	10,689	6	0,56	0,21	1,22
Nouméa	Anse Vata	14,430	4	0,28	0,08	0,71
Nouméa	Artillerie	5,387	3	0,56	0,11	1,63
Nouméa	Aérodrome	10,128	6	0,59	0,22	1,29
Nouméa	Baie des Citrons	13,502	10	0,74	0,36	1,36
Nouméa	Centre Ville	5,564	5	0,90	0,29	2,10
Nouméa	Doniambo	0,421	0	0,00	0,00	7,11
Nouméa	Ducos	6,144	10	1,63	0,78	2,99
Nouméa	Ducos Industriel	3,446	4	1,16	0,32	2,97
Nouméa	Faubourg Blanchot	12,719	16	1,26	0,72	2,04
Nouméa	Haut-Magenta	6,903	6	0,87	0,32	1,89
Nouméa	Kaméré	5,600	6	1,07	0,39	2,33
Nouméa	Logicoop	6,364	9	1,41	0,65	2,68
Nouméa	Magenta	23,086	22	0,95	0,60	1,44
Nouméa	Montagne coupée	0,843	1	1,19	0,03	6,61
Nouméa	Montravel	5,255	7	1,33	0,54	2,74
Nouméa	Motor Pool	7,726	4	0,52	0,14	1,33
Nouméa	N'Gea	7,299	2	0,27	0,03	0,99
Nouméa	Normandie	9,916	12	1,21	0,63	2,11
Nouméa	Nouvelle	5,999	7	1,17	0,47	2,40
Nouméa	Numbo-Koumourou	0,678	1	1,47	0,04	8,21
Nouméa	Orphelinat	6,270	8	1,28	0,55	2,51
Nouméa	Ouémo	6,044	4	0,66	0,18	1,69
Nouméa	PK4	5,844	7	1,20	0,48	2,47
Nouméa	PK6	8,233	10	1,21	0,58	2,23
Nouméa	PK7	13,147	16	1,22	0,70	1,98
Nouméa	Portes de Fer	12,722	11	0,86	0,43	1,55
Nouméa	Quartier Latin	5,523	10	1,81	0,87	3,33
Nouméa	Receiving	0,823	0	0,00	0,00	3,64
Nouméa	Rivière Salée	29,685	30	1,01	0,68	1,44

Nouméa	Tina	3,696	3	0,81	0,17	2,37
Nouméa	Tindu	5,051	6	1,19	0,44	2,59
Nouméa	Trianon	11,570	14	1,21	0,66	2,03
Nouméa	Val Plaisance	15,823	17	1,07	0,63	1,72
Nouméa	Vallée des Colons	37,937	37	0,98	0,69	1,34
Nouméa	Vallée du Génie	1,818	0	0,00	0,00	1,65
Nouméa	Vallée du Tir	6,522	6	0,92	0,34	2,00

Décès respiratoires

Commune	Quartier	Nombre de décès attendus	Nombre de décès observés	SMR	Borne inférieure SMR	Borne supérieure SMR
Dumbéa	Auteuil	2,188	1	0,46	0,01	2,55
Dumbéa	Cœur de Ville	1,779	1	0,56	0,01	3,13
Dumbéa	Dumbéa/mer	0,386	0	0,00	0,00	7,75
Dumbéa	Koutio	6,178	8	1,29	0,56	2,55
Le Mont-Dore	Boulari	1,419	0	0,00	0,00	2,11
Le Mont-Dore	La Conception	0,870	1	1,15	0,03	6,40
Le Mont-Dore	Pont des Français	0,581	3	5,16	1,06	15,09
Le Mont-Dore	Robinson	4,236	1	0,24	0,01	1,32
Le Mont-Dore	Saint-Michel	1,347	2	1,48	0,18	5,36
Le Mont-Dore	Yahoué	2,889	4	1,38	0,38	3,54
Nouméa	Anse Vata	3,934	4	1,02	0,28	2,60
Nouméa	Artillerie	1,377	1	0,73	0,02	4,05
Nouméa	Aérodrome	2,607	3	1,15	0,24	3,36
Nouméa	Baie des Citrons	3,742	4	1,07	0,29	2,74
Nouméa	Centre Ville	1,395	1	0,72	0,02	3,99
Nouméa	Doniambo	0,107	0	0,00	0,00	28,01
Nouméa	Ducos	1,636	1	0,61	0,02	3,41
Nouméa	Ducos Industriel	0,896	2	2,23	0,27	8,07
Nouméa	Faubourg Blanchot	3,481	5	1,44	0,47	3,35
Nouméa	Haut-Magenta	1,838	1	0,54	0,01	3,03
Nouméa	Kaméré	1,445	2	1,38	0,17	5,00
Nouméa	Logicoop	1,751	1	0,57	0,01	3,18
Nouméa	Magenta	6,120	3	0,49	0,10	1,43
Nouméa	Montagne coupée	0,226	0	0,00	0,00	13,26
Nouméa	Montravel	1,354	1	0,74	0,02	4,12
Nouméa	Motor Pool	2,083	1	0,48	0,01	2,68
Nouméa	N'Gea	1,923	1	0,52	0,01	2,90
Nouméa	Normandie	2,561	4	1,56	0,43	4,00
Nouméa	Nouvelle	1,537	1	0,65	0,02	3,63

Nouméa	Numbo-Koumourou	0,174	0	0,00	0,00	17,21
Nouméa	Orphelinat	1,723	2	1,16	0,14	4,19
Nouméa	Ouémo	1,639	0	0,00	0,00	1,83
Nouméa	PK4	1,512	6	3,97	1,46	8,64
Nouméa	PK6	2,183	3	1,37	0,28	4,02
Nouméa	PK7	3,575	2	0,56	0,07	2,02
Nouméa	Portes de Fer	3,365	5	1,49	0,48	3,47
Nouméa	Quartier Latin	1,457	1	0,69	0,02	3,82
Nouméa	Receiving	0,216	0	0,00	0,00	13,89
Nouméa	Rivière Salée	7,999	11	1,38	0,69	2,46
Nouméa	Tina	0,951	0	0,00	0,00	3,15
Nouméa	Tindu	1,342	5	3,73	1,21	8,69
Nouméa	Trianon	3,142	3	0,95	0,20	2,79
Nouméa	Val Plaisance	4,330	2	0,46	0,06	1,67
Nouméa	Vallée des Colons	10,252	9	0,88	0,40	1,67
Nouméa	Vallée du Génie	0,509	0	0,00	0,00	5,89
Nouméa	Vallée du Tir	1,745	2	1,15	0,14	4,14

Décès par cancer des bronches, du poumon ou de la trachée

Commune	Quartier	Nombre de décès attendus	Nombre de décès observés	SMR	Borne inférieure SMR	Borne supérieure SMR
Dumbéa	Auteuil	2,847	6	2,11	0,77	4,59
Dumbéa	Cœur de Ville	2,523	3	1,19	0,25	3,47
Dumbéa	Dumbéa/mer	0,603	0	0,00	0,00	4,97
Dumbéa	Koutio	8,581	9	1,05	0,48	1,99
Le Mont-Dore	Boulari	1,905	1	0,52	0,01	2,92
Le Mont-Dore	La Conception	1,105	2	1,81	0,22	6,54
Le Mont-Dore	Pont des Français	0,812	2	2,46	0,30	8,89
Le Mont-Dore	Robinson	5,523	8	1,45	0,63	2,85
Le Mont-Dore	Saint-Michel	1,778	3	1,69	0,35	4,93
Le Mont-Dore	Yahoué	3,706	2	0,54	0,07	1,95
Nouméa	Anse Vata	4,947	1	0,20	0,01	1,13
Nouméa	Artillerie	1,917	0	0,00	0,00	1,56
Nouméa	Aérodrome	3,596	4	1,11	0,30	2,85
Nouméa	Baie des Citrons	4,578	4	0,87	0,24	2,24
Nouméa	Centre Ville	1,979	0	0,00	0,00	1,51
Nouméa	Doniambo	0,150	0	0,00	0,00	19,91
Nouméa	Ducos	2,194	7	3,19	1,28	6,57
Nouméa	Ducos Industriel	1,287	2	1,55	0,19	5,61
Nouméa	Faubourg Blanchot	4,330	4	0,92	0,25	2,37

Nouméa	Haut-Magenta	2,369	3	1,27	0,26	3,70
Nouméa	Kaméré	2,040	2	0,98	0,12	3,54
Nouméa	Logicoop	2,146	1	0,47	0,01	2,60
Nouméa	Magenta	8,084	7	0,87	0,35	1,78
Nouméa	Montagne coupée	0,292	0	0,00	0,00	10,27
Nouméa	Montravel	1,829	1	0,55	0,01	3,05
Nouméa	Motor Pool	2,618	5	1,91	0,62	4,46
Nouméa	N'Gea	2,558	2	0,78	0,09	2,82
Nouméa	Normandie	3,547	4	1,13	0,31	2,89
Nouméa	Nouvelle	2,126	1	0,47	0,01	2,62
Nouméa	Numbo-Koumourou	0,237	1	4,22	0,11	23,50
Nouméa	Orphelinat	2,136	4	1,87	0,51	4,80
Nouméa	Ouémo	2,070	2	0,97	0,12	3,49
Nouméa	PK4	2,113	0	0,00	0,00	1,42
Nouméa	PK6	2,873	2	0,70	0,08	2,51
Nouméa	PK7	4,577	4	0,87	0,24	2,24
Nouméa	Portes de Fer	4,443	2	0,45	0,05	1,63
Nouméa	Quartier Latin	1,932	3	1,55	0,32	4,54
Nouméa	Receiving	0,282	0	0,00	0,00	10,64
Nouméa	Rivière Salée	10,378	9	0,87	0,40	1,65
Nouméa	Tina	1,362	0	0,00	0,00	2,20
Nouméa	Tindu	1,788	3	1,68	0,35	4,90
Nouméa	Trianon	3,837	7	1,82	0,73	3,76
Nouméa	Val Plaisance	5,395	5	0,93	0,30	2,16
Nouméa	Vallée des Colons	12,803	12	0,94	0,48	1,64
Nouméa	Vallée du Génie	0,587	1	1,71	0,04	9,50
Nouméa	Vallée du Tir	2,219	2	0,90	0,11	3,26

6.7 SIR par quartier

Hospitalisations toutes causes cardiovasculaires

Commune	Quartier	Nombre d'hospitalisations attendues	Nombre d'hospitalisations observées	SIR	Borne inférieure SIR	Borne supérieure SIR
Dumbéa	Auteuil	100,60	132	1,31	1,10	1,56
Dumbéa	Cœur de Ville	99,92	102	1,02	0,83	1,24
Dumbéa	Dumbéa/mer	26,04	20	0,77	0,47	1,19
Dumbéa	Koutio	329,26	373	1,13	1,02	1,25
Le Mont-Dore	Boulari	68,74	95	1,38	1,12	1,69
Le Mont-Dore	La Conception	39,32	57	1,45	1,10	1,88
Le Mont-Dore	Pont des Français	31,06	43	1,38	1,00	1,86
Le Mont-Dore	Robinson	197,70	196	0,99	0,86	1,14
Le Mont-Dore	Saint-Michel	63,89	66	1,03	0,80	1,31
Le Mont-Dore	Yahoué	128,80	150	1,16	0,99	1,37
Nouméa	Anse Vata	166,52	116	0,70	0,58	0,84
Nouméa	Artillerie	72,49	58	0,80	0,61	1,03
Nouméa	Aérodrome	141,75	116	0,82	0,68	0,98
Nouméa	Baie des Citrons	147,16	93	0,63	0,51	0,77
Nouméa	Centre Ville	77,95	92	1,18	0,95	1,45
Nouméa	Doniambo	6,50	1	0,15	0,00	0,86
Nouméa	Ducos	79,59	85	1,07	0,85	1,32
Nouméa	Ducos Industriel	47,87	58	1,21	0,92	1,57
Nouméa	Faubourg Blanchot	145,40	160	1,10	0,94	1,28
Nouméa	Haut-Magenta	86,74	99	1,14	0,93	1,39
Nouméa	Kaméré	82,20	91	1,11	0,89	1,36
Nouméa	Logicoop	71,75	88	1,23	0,98	1,51
Nouméa	Magenta	293,28	265	0,90	0,80	1,02
Nouméa	Montagne coupée	10,36	17	1,64	0,96	2,63
Nouméa	Montravel	72,83	111	1,52	1,25	1,84
Nouméa	Motor Pool	91,81	80	0,87	0,69	1,08
Nouméa	N'Gea	96,04	104	1,08	0,88	1,31
Nouméa	Normandie	138,77	128	0,92	0,77	1,10
Nouméa	Nouvelle	80,16	40	0,50	0,36	0,68
Nouméa	Numbo-Koumourou	9,15	15	1,64	0,92	2,70
Nouméa	Orphelinat	70,41	63	0,89	0,69	1,14
Nouméa	Ouémo	71,26	55	0,77	0,58	1,00
Nouméa	PK4	81,74	96	1,17	0,95	1,43
Nouméa	PK6	105,19	123	1,17	0,97	1,40
Nouméa	PK7	157,26	134	0,85	0,71	1,01

Nouméa	Portes de Fer	162,21	138	0,85	0,71	1,01
Nouméa	Quartier Latin	68,83	64	0,93	0,72	1,19
Nouméa	Receiving	10,75	9	0,84	0,38	1,59
Nouméa	Rivière Salée	363,64	430	1,18	1,07	1,30
Nouméa	Tina	52,87	60	1,13	0,87	1,46
Nouméa	Tindu	66,21	76	1,15	0,90	1,44
Nouméa	Trianon	132,72	112	0,84	0,69	1,02
Nouméa	Val Plaisance	180,27	157	0,87	0,74	1,02
Nouméa	Vallée des Colons	445,32	395	0,89	0,80	0,98
Nouméa	Vallée du Génie	18,84	2	0,11	0,01	0,38
Nouméa	Vallée du Tir	79,84	106	1,33	1,09	1,61

Hospitalisations toutes causes respiratoires

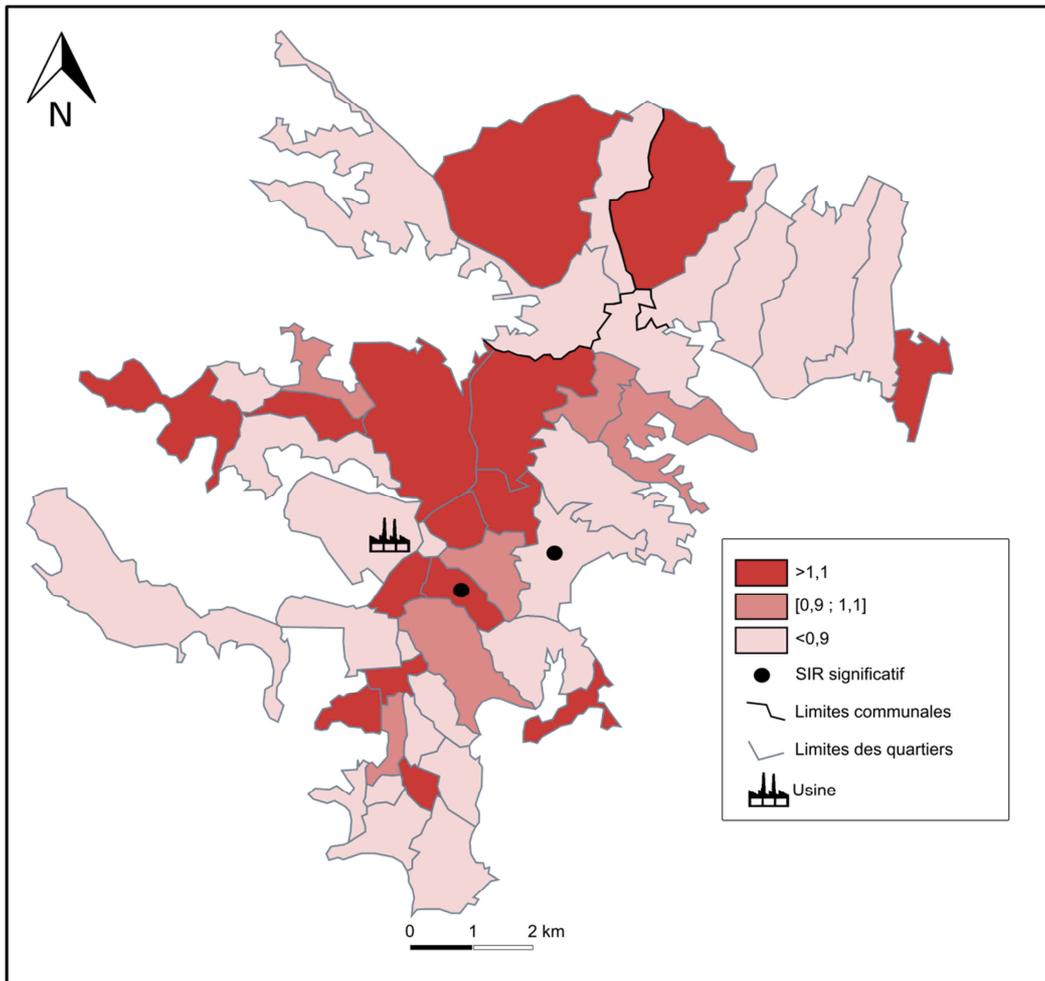
Commune	Quartier	Nombre d'hospitalisations attendues	Nombre d'hospitalisations observées	SIR	Borne inférieure SIR	Borne supérieure SIR
Dumbéa	Auteuil	86,26	110	1,28	1,05	1,54
Dumbéa	Cœur de Ville	114,53	128	1,12	0,93	1,33
Dumbéa	Dumbéa/mer	32,76	32	0,98	0,67	1,38
Dumbéa	Koutio	327,25	442	1,35	1,23	1,48
Le Mont-Dore	Boulari	62,84	59	0,94	0,71	1,21
Le Mont-Dore	La Conception	33,47	39	1,17	0,83	1,59
Le Mont-Dore	Pont des Français	32,80	31	0,95	0,64	1,34
Le Mont-Dore	Robinson	176,57	194	1,10	0,95	1,26
Le Mont-Dore	Saint-Michel	57,50	87	1,51	1,21	1,87
Le Mont-Dore	Yahoué	107,70	132	1,23	1,03	1,45
Nouméa	Anse Vata	121,85	47	0,39	0,28	0,51
Nouméa	Artillerie	57,40	33	0,57	0,40	0,81
Nouméa	Aérodrome	147,31	132	0,90	0,75	1,06
Nouméa	Baie des Citrons	97,26	36	0,37	0,26	0,51
Nouméa	Centre Ville	64,26	87	1,35	1,08	1,67
Nouméa	Doniambo	8,73	8	0,92	0,40	1,81
Nouméa	Ducos	76,41	93	1,22	0,98	1,49
Nouméa	Ducos Industriel	46,19	70	1,52	1,18	1,91
Nouméa	Faubourg Blanchot	109,01	109	1,00	0,82	1,21
Nouméa	Haut-Magenta	79,38	71	0,89	0,70	1,13
Nouméa	Kaméré	99,60	184	1,85	1,59	2,13
Nouméa	Logicoop	54,46	57	1,05	0,79	1,36
Nouméa	Magenta	256,22	213	0,83	0,72	0,95
Nouméa	Montagne coupée	9,07	9	0,99	0,45	1,88

Nouméa	Montravel	76,50	146	1,91	1,61	2,24
Nouméa	Motor Pool	72,92	40	0,55	0,39	0,75
Nouméa	N'Gea	93,50	78	0,83	0,66	1,04
Nouméa	Normandie	144,79	148	1,02	0,86	1,20
Nouméa	Nouvelle	62,53	73	1,17	0,92	1,47
Nouméa	Numbo-Koumourou	8,12	9	1,11	0,51	2,10
Nouméa	Orphelinat	49,96	19	0,38	0,23	0,59
Nouméa	Ouémo	55,23	22	0,40	0,25	0,60
Nouméa	PK4	83,25	115	1,38	1,14	1,66
Nouméa	PK6	95,71	73	0,76	0,60	0,96
Nouméa	PK7	133,04	74	0,56	0,44	0,70
Nouméa	Portes de Fer	142,34	121	0,85	0,71	1,02
Nouméa	Quartier Latin	51,30	56	1,09	0,82	1,42
Nouméa	Receiving	10,15	3	0,30	0,06	0,86
Nouméa	Rivière Salée	313,02	428	1,37	1,24	1,50
Nouméa	Tina	56,05	32	0,57	0,39	0,81
Nouméa	Tindu	67,29	135	2,01	1,68	2,37
Nouméa	Trianon	99,68	60	0,60	0,46	0,77
Nouméa	Val Plaisance	130,45	72	0,55	0,43	0,70
Nouméa	Vallée des Colons	343,56	210	0,61	0,53	0,70
Nouméa	Vallée du Génie	12,57	5	0,40	0,13	0,93
Nouméa	Vallée du Tir	69,25	108	1,56	1,28	1,88

Hospitalisations infarctus du myocarde

Commune	Quartier	Nombre d'hospitalisations attendues	Nombre d'hospitalisations observées	SIR	Borne inférieure SIR	Borne supérieure SIR
Dumbéa	Auteuil	5,070	4	0,79	0,21	2,02
Dumbéa	Cœur de Ville	5,792	4	0,69	0,19	1,77
Dumbéa	Dumbéa/mer	1,637	1	0,61	0,02	3,40
Dumbéa	Koutio	18,264	26	1,42	0,93	2,09
Le Mont-Dore	Boulari	3,536	3	0,85	0,17	2,48
Le Mont-Dore	La Conception	1,972	1	0,51	0,01	2,83
Le Mont-Dore	Pont des Français	1,717	1	0,58	0,01	3,25
Le Mont-Dore	Robinson	10,140	7	0,69	0,28	1,42
Le Mont-Dore	Saint-Michel	3,295	4	1,21	0,33	3,11
Le Mont-Dore	Yahoué	6,342	7	1,10	0,44	2,27
Nouméa	Anse Vata	7,835	7	0,89	0,36	1,84
Nouméa	Artillerie	4,071	6	1,47	0,54	3,21
Nouméa	Aérodrome	7,834	1	0,13	0,00	0,71
Nouméa	Baie des Citrons	6,562	4	0,61	0,17	1,56
Nouméa	Centre Ville	4,451	3	0,67	0,14	1,97
Nouméa	Doniambo	0,400	0	0,00	0,00	7,49
Nouméa	Ducos	4,200	3	0,71	0,15	2,09
Nouméa	Ducos Industriel	2,669	6	2,25	0,82	4,89
Nouméa	Faubourg Blanchot	6,715	5	0,74	0,24	1,74
Nouméa	Haut-Magenta	4,520	11	2,43	1,21	4,35
Nouméa	Kaméré	4,700	5	1,06	0,35	2,48
Nouméa	Logicoop	3,361	7	2,08	0,84	4,29
Nouméa	Magenta	15,175	12	0,79	0,41	1,38
Nouméa	Montagne coupée	0,534	0	0,00	0,00	5,61
Nouméa	Montravel	4,159	7	1,68	0,68	3,47
Nouméa	Motor Pool	4,485	5	1,11	0,36	2,60
Nouméa	N'Géa	5,019	4	0,80	0,22	2,04
Nouméa	Normandie	7,863	5	0,64	0,21	1,48
Nouméa	Nouvelle	4,840	3	0,62	0,13	1,81
Nouméa	Numbo-Koumourou	0,533	2	3,75	0,45	13,55
Nouméa	Orphelinat	3,220	3	0,93	0,19	2,72
Nouméa	Ouémo	3,458	4	1,16	0,32	2,96
Nouméa	PK4	4,485	6	1,34	0,49	2,91
Nouméa	PK6	5,557	3	0,54	0,11	1,58
Nouméa	PK7	7,582	7	0,92	0,37	1,90
Nouméa	Portes de Fer	8,361	9	1,08	0,49	2,04
Nouméa	Quartier Latin	3,470	4	1,15	0,31	2,95
Nouméa	Receiving	0,566	0	0,00	0,00	5,29
Nouméa	Rivière Salée	18,066	23	1,27	0,81	1,91
Nouméa	Tina	2,983	3	1,01	0,21	2,94

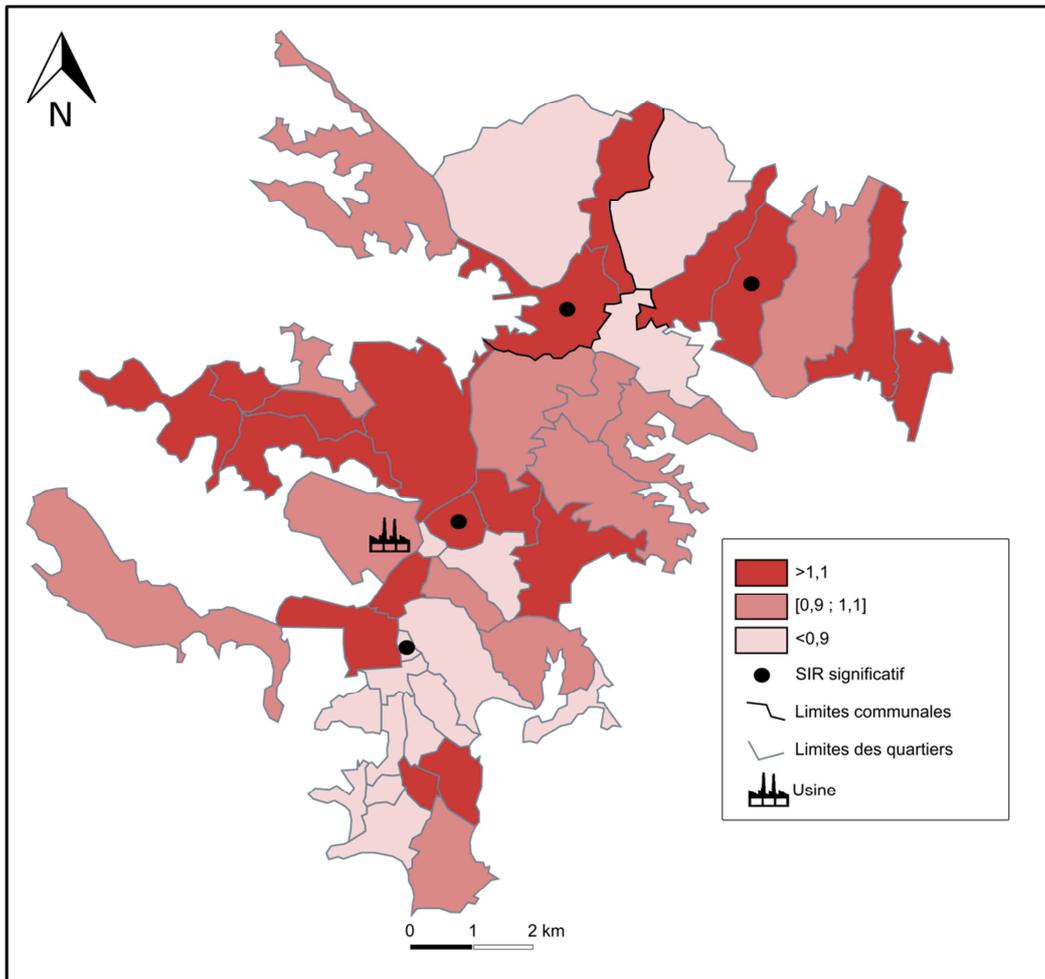
Nouméa	Tindu	3,480	3	0,86	0,18	2,52
Nouméa	Trianon	6,280	5	0,80	0,26	1,86
Nouméa	Val Plaisance	8,328	6	0,72	0,26	1,57
Nouméa	Vallée des Colons	21,591	23	1,07	0,68	1,60
Nouméa	Vallée du Génie	0,817	0	0,00	0,00	3,66
Nouméa	Vallée du Tir	4,064	7	1,72	0,69	3,55



Hospitalisations AVC

Commune	Quartier	Nombre d'hospitalisations attendues	Nombre d'hospitalisations observées	SIR	Borne inférieure SIR	Borne supérieure SIR
Dumbéa	Auteuil	16,205	22	1,36	0,85	2,06
Dumbéa	Cœur de Ville	15,747	25	1,59	1,03	2,34
Dumbéa	Dumbéa/mer	4,046	4	0,99	0,27	2,53
Dumbéa	Koutio	52,446	42	0,80	0,58	1,08
Le Mont-Dore	Boulari	10,998	17	1,55	0,90	2,47
Le Mont-Dore	La Conception	6,422	14	2,18	1,19	3,66
Le Mont-Dore	Pont des Français	4,925	7	1,42	0,57	2,93
Le Mont-Dore	Robinson	31,844	30	0,94	0,64	1,34
Le Mont-Dore	Saint-Michel	10,245	15	1,46	0,82	2,41
Le Mont-Dore	Yahoué	20,820	15	0,72	0,40	1,19
Nouméa	Anse Vata	27,071	24	0,89	0,57	1,32
Nouméa	Artillerie	11,468	5	0,44	0,14	1,02
Nouméa	Aérodrome	22,946	26	1,13	0,74	1,66
Nouméa	Baie des Citrons	23,948	18	0,75	0,45	1,19
Nouméa	Centre Ville	12,457	14	1,12	0,61	1,89
Nouméa	Doniambo	1,041	1	0,96	0,02	5,35
Nouméa	Ducos	12,646	14	1,11	0,61	1,86
Nouméa	Ducos Industriel	7,407	12	1,62	0,84	2,83
Nouméa	Faubourg Blanchot	23,818	17	0,71	0,42	1,14
Nouméa	Haut-Magenta	14,113	13	0,92	0,49	1,58
Nouméa	Kaméré	13,132	13	0,99	0,53	1,69
Nouméa	Logicoop	11,727	13	1,11	0,59	1,90
Nouméa	Magenta	47,279	43	0,91	0,66	1,23
Nouméa	Montagne coupée	1,664	1	0,60	0,02	3,35
Nouméa	Montravel	11,771	34	2,89	2,00	4,04
Nouméa	Motor Pool	15,073	18	1,19	0,71	1,89
Nouméa	N'Gea	15,640	19	1,21	0,73	1,90
Nouméa	Normandie	22,136	16	0,72	0,41	1,17
Nouméa	Nouvelle	12,328	12	0,97	0,50	1,70
Nouméa	Numbo-Koumourou	1,448	4	2,76	0,75	7,07
Nouméa	Orphelinat	11,476	9	0,78	0,36	1,49
Nouméa	Ouémo	11,585	5	0,43	0,14	1,01
Nouméa	PK4	13,086	15	1,15	0,64	1,89
Nouméa	PK6	16,922	16	0,95	0,54	1,54
Nouméa	PK7	25,427	25	0,98	0,64	1,45
Nouméa	Portes de Fer	26,278	18	0,68	0,41	1,08
Nouméa	Quartier Latin	11,114	10	0,90	0,43	1,65
Nouméa	Receiving	1,774	1	0,56	0,01	3,14
Nouméa	Rivière Salée	58,620	62	1,06	0,81	1,36
Nouméa	Tina	8,335	9	1,08	0,49	2,05

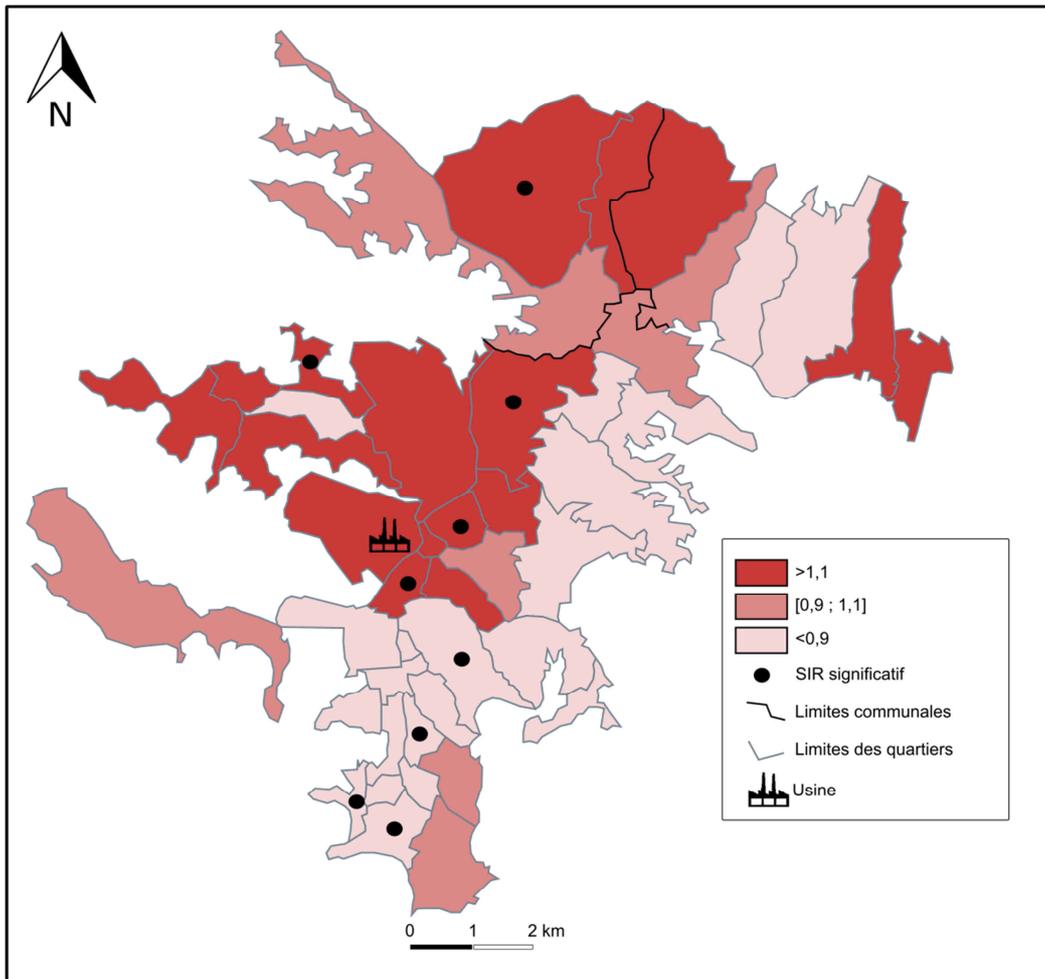
Nouméa	Tindu	10,660	17	1,59	0,93	2,55
Nouméa	Trianon	22,084	17	0,77	0,45	1,23
Nouméa	Val Plaisance	29,446	27	0,92	0,60	1,33
Nouméa	Vallée des Colons	73,175	61	0,83	0,64	1,07
Nouméa	Vallée du Génie	3,159	0	0,00	0,00	0,95
Nouméa	Vallée du Tir	13,047	19	1,46	0,88	2,27



Hospitalisations asthme

Commune	Quartier	Nombre d'hospitalisations attendues	Nombre d'hospitalisations observées	SIR	Borne inférieure SIR	Borne supérieure SIR
Dumbéa	Auteuil	9,775	11	1,13	0,56	2,01
Dumbéa	Cœur de Ville	14,709	15	1,02	0,57	1,68
Dumbéa	Dumbéa/mer	4,390	4	0,91	0,25	2,33
Dumbéa	Koutio	40,495	56	1,38	1,04	1,80
Le Mont-Dore	Boulari	7,406	12	1,62	0,84	2,83
Le Mont-Dore	La Conception	3,816	1	0,26	0,01	1,46
Le Mont-Dore	Pont des Français	4,119	4	0,97	0,26	2,49
Le Mont-Dore	Robinson	20,447	18	0,88	0,52	1,39
Le Mont-Dore	Saint-Michel	6,673	10	1,50	0,72	2,76
Le Mont-Dore	Yahoué	11,989	15	1,25	0,70	2,06
Nouméa	Anse Vata	12,468	4	0,32	0,09	0,82
Nouméa	Artillerie	6,463	2	0,31	0,04	1,12
Nouméa	Aérodrome	18,821	15	0,80	0,45	1,31
Nouméa	Baie des Citrons	8,888	1	0,11	0,00	0,63
Nouméa	Centre Ville	7,603	6	0,79	0,29	1,72
Nouméa	Doniambo	1,183	2	1,69	0,20	6,11
Nouméa	Ducos	9,075	12	1,32	0,68	2,31
Nouméa	Ducos Industriel	5,506	8	1,45	0,63	2,86
Nouméa	Faubourg Blanchot	11,374	10	0,88	0,42	1,62
Nouméa	Haut-Magenta	9,384	11	1,17	0,59	2,10
Nouméa	Kaméré	13,149	22	1,67	1,05	2,53
Nouméa	Logicoop	5,598	2	0,36	0,04	1,29
Nouméa	Magenta	29,739	26	0,87	0,57	1,28
Nouméa	Montagne coupée	1,034	2	1,93	0,23	6,99
Nouméa	Montravel	9,710	20	2,06	1,26	3,18
Nouméa	Motor Pool	8,040	6	0,75	0,27	1,62
Nouméa	N'Gea	11,537	11	0,95	0,48	1,71
Nouméa	Normandie	18,192	19	1,04	0,63	1,63
Nouméa	Nouvelle	6,578	7	1,06	0,43	2,19
Nouméa	Numbo-Koumourou	0,948	2	2,11	0,26	7,62
Nouméa	Orphelinat	4,946	1	0,20	0,01	1,13
Nouméa	Ouémo	5,882	2	0,34	0,04	1,23
Nouméa	PK4	10,453	13	1,24	0,66	2,13
Nouméa	PK6	11,232	6	0,53	0,20	1,16
Nouméa	PK7	14,826	9	0,61	0,28	1,15
Nouméa	Portes de Fer	16,699	17	1,02	0,59	1,63
Nouméa	Quartier Latin	5,577	5	0,90	0,29	2,09
Nouméa	Receiving	1,254	0	0,00	0,00	2,39
Nouméa	Rivière Salée	35,448	61	1,72	1,32	2,21
Nouméa	Tina	7,073	3	0,42	0,09	1,24

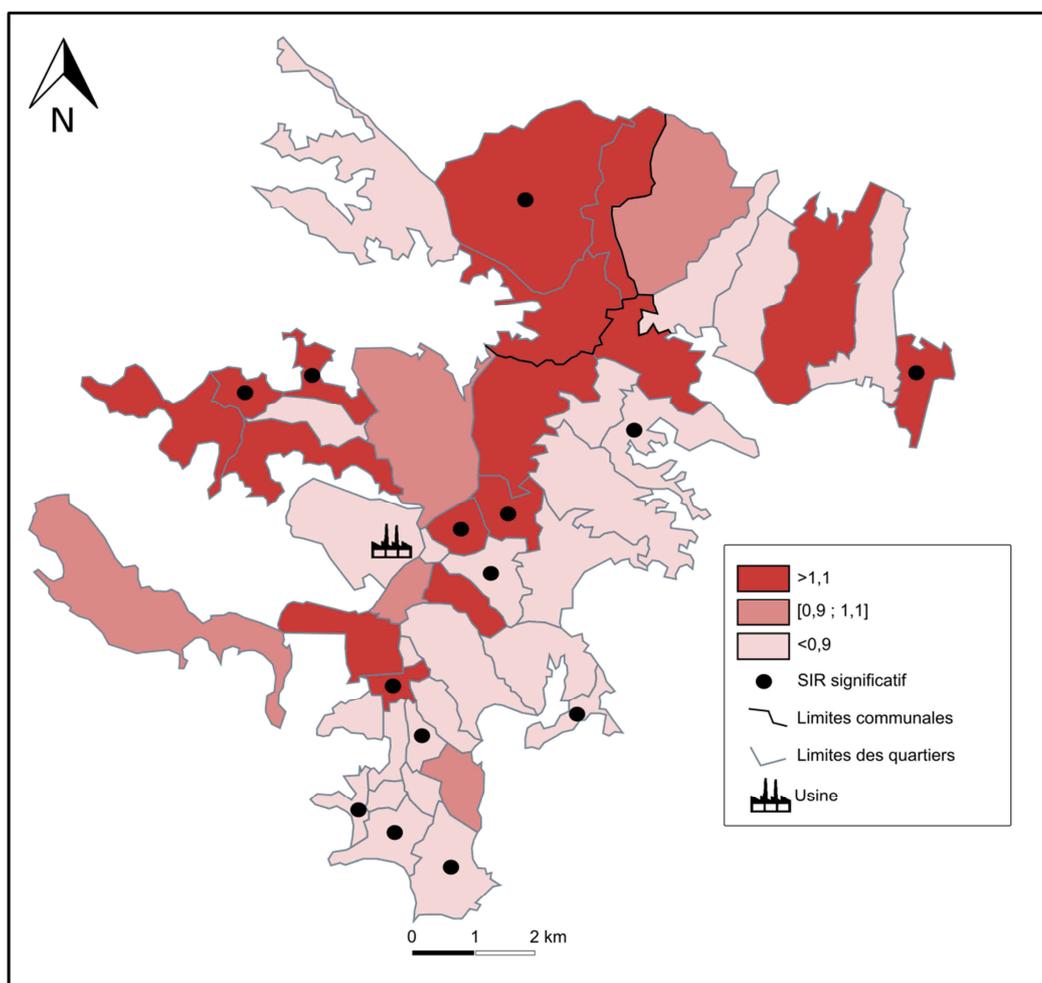
Nouméa	Tindu	8,285	11	1,33	0,66	2,38
Nouméa	Trianon	10,670	3	0,28	0,06	0,82
Nouméa	Val Plaisance	13,255	13	0,98	0,52	1,68
Nouméa	Vallée des Colons	37,138	17	0,46	0,27	0,73
Nouméa	Vallée du Génie	1,162	1	0,86	0,02	4,80
Nouméa	Vallée du Tir	7,990	15	1,88	1,05	3,10



Hospitalisations BPCO

Commune	Quartier	Nombre d'hospitalisations attendues	Nombre d'hospitalisations observées	SIR	Borne inférieure SIR	Borne supérieure SIR
Dumbéa	Auteuil	7,919	11	1,39	0,69	2,49
Dumbéa	Cœur de Ville	7,649	9	1,18	0,54	2,23
Dumbéa	Dumbéa/mer	1,944	0	0	0	1,54
Dumbéa	Koutio	25,298	37	1,46	1,03	2,02
Le Mont-Dore	Boulari	5,380	1	0,19	0	1,04
Le Mont-Dore	La Conception	3,091	2	0,65	0,08	2,34
Le Mont-Dore	Pont des Français	2,397	2	0,83	0,10	3,01
Le Mont-Dore	Robinson	15,523	22	1,42	0,89	2,15
Le Mont-Dore	Saint-Michel	5,006	13	2,60	1,38	4,44
Le Mont-Dore	Yahoué	10,199	11	1,08	0,54	1,93
Nouméa	Aérodrome	10,828	6	0,55	0,20	1,21
Nouméa	Anse Vata	13,280	5	0,38	0,12	0,88
Nouméa	Artillerie	5,532	2	0,36	0,04	1,31
Nouméa	Baie des Citrons	11,917	1	0,08	0	0,47
Nouméa	Centre Ville	5,874	9	1,53	0,70	2,91
Nouméa	Doniambo	0,489	0	0	0	6,12
Nouméa	Ducos	6,231	9	1,44	0,66	2,74
Nouméa	Ducos Industriel	3,702	4	1,08	0,29	2,77
Nouméa	Faubourg Blanchot	11,628	7	0,60	0,24	1,24
Nouméa	Haut-Magenta	6,768	8	1,18	0,51	2,33
Nouméa	Kaméré	6,285	17	2,70	1,58	4,33
Nouméa	Logicoop	5,753	5	0,87	0,28	2,03
Nouméa	Magenta	22,877	16	0,70	0,40	1,14
Nouméa	Montagne coupée	0,816	0	0	0	3,67
Nouméa	Montravel	5,551	14	2,52	1,38	4,23
Nouméa	Motor Pool	7,239	5	0,69	0,22	1,61
Nouméa	N'Gea	7,442	7	0,94	0,38	1,94
Nouméa	Normandie	10,618	14	1,32	0,72	2,21
Nouméa	Nouvelle	6,109	6	0,98	0,36	2,14
Nouméa	Numbo-Koumourou	0,698	2	2,87	0,35	10,36
Nouméa	Orphelinat	5,659	3	0,53	0,11	1,55
Nouméa	Ouémo	5,646	1	0,18	0	0,99
Nouméa	PK4	6,268	18	2,87	1,70	4,54
Nouméa	PK6	8,194	7	0,85	0,34	1,76
Nouméa	PK7	12,512	10	0,80	0,38	1,47
Nouméa	Portes de Fer	12,630	4	0,32	0,09	0,81

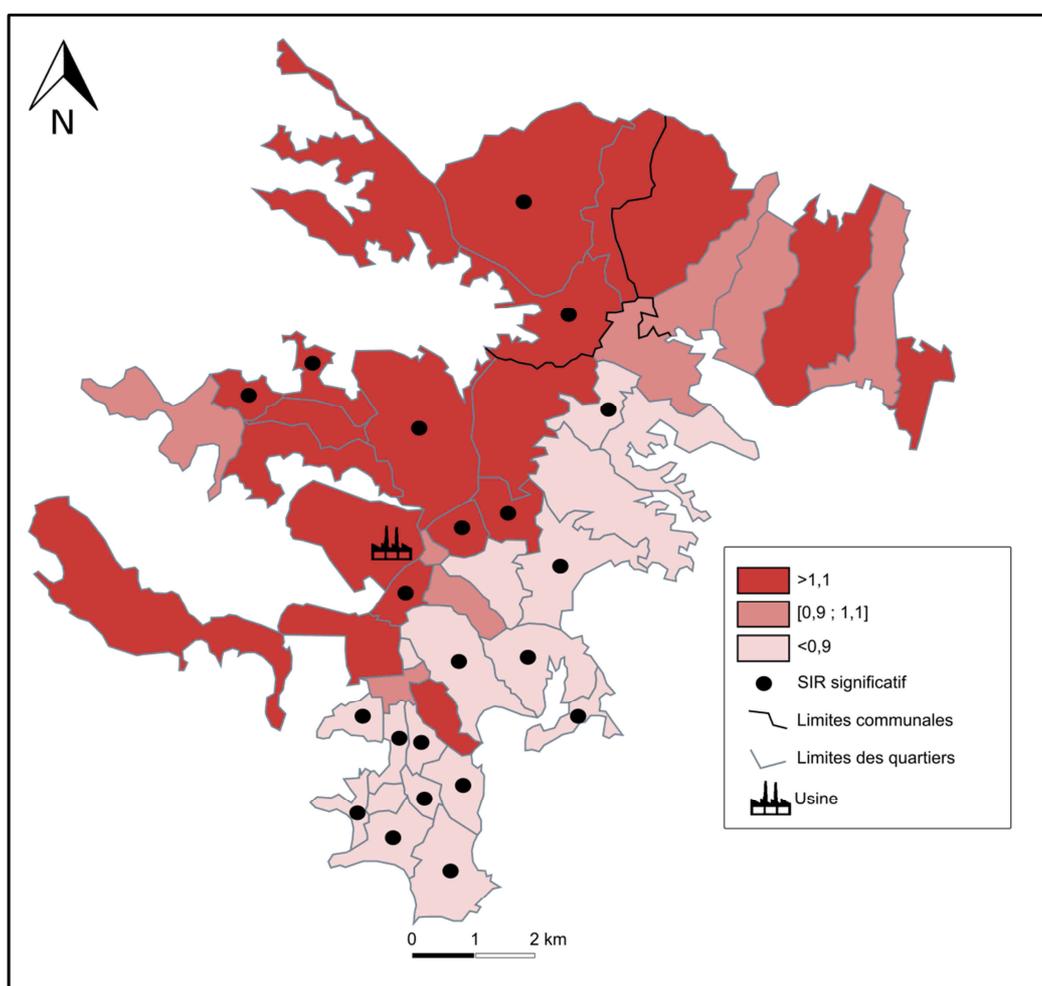
Nouméa	Quartier Latin	5,368	12	2,24	1,16	3,91
Nouméa	Receiving	0,828	0	0	0	3,62
Nouméa	Rivière Salée	28,727	40	1,39	0,99	1,90
Nouméa	Tina	4,054	0	0	0	0,74
Nouméa	Tindu	5,165	19	3,68	2,21	5,74
Nouméa	Trianon	10,511	3	0,29	0,06	0,83
Nouméa	Val Plaisance	14,421	4	0,28	0,08	0,71
Nouméa	Vallée des Colons	35,185	24	0,68	0,44	1,01
Nouméa	Vallée du Génie	1,533	1	0,65	0,02	3,64
Nouméa	Vallée du Tir	6,259	6	0,96	0,35	2,09



Hospitalisations infections respiratoires

Commune	Quartier	Nombre d'hospitalisations attendues	Nombre d'hospitalisations observées	SIR	Borne inférieure SIR	Borne supérieure SIR
Dumbéa	Auteuil	38,405	49	1,28	0,94	1,69
Dumbéa	Cœur de Ville	56,445	73	1,29	1,01	1,63
Dumbéa	Dumbéa/mer	16,481	19	1,15	0,69	1,80
Dumbéa	Koutio	153,561	216	1,41	1,23	1,61
Le Mont-Dore	Boulari	28,625	26	0,91	0,59	1,33
Le Mont-Dore	La Conception	14,869	15	1,01	0,56	1,66
Le Mont-Dore	Pont des Français	15,736	16	1,02	0,58	1,65
Le Mont-Dore	Robinson	80,091	89	1,11	0,89	1,37
Le Mont-Dore	Saint-Michel	26,092	36	1,38	0,97	1,91
Le Mont-Dore	Yahoué	47,544	56	1,18	0,89	1,53
Nouméa	Anse Vata	69,854	74	1,06	0,83	1,33
Nouméa	Artillerie	50,347	20	0,40	0,24	0,61
Nouméa	Aérodrome	24,43	11	0,45	0,22	0,81
Nouméa	Baie des Citrons	38,28	16	0,42	0,24	0,68
Nouméa	Centre Ville	27,615	37	1,34	0,94	1,85
Nouméa	Doniambo	4,486	6	1,34	0,49	2,91
Nouméa	Ducos	35,644	45	1,26	0,92	1,69
Nouméa	Ducos Industriel	21,501	37	1,72	1,21	2,37
Nouméa	Faubourg Blanchot	45,629	54	1,18	0,89	1,54
Nouméa	Haut-Magenta	36,301	33	0,91	0,63	1,28
Nouméa	Kaméré	49,716	91	1,83	1,47	2,25
Nouméa	Logicoop	23,115	26	1,12	0,73	1,65
Nouméa	Magenta	114,545	72	0,63	0,49	0,79
Nouméa	Montagne coupée	4,108	4	0,97	0,27	2,49
Nouméa	Montravel	36,637	72	1,97	1,54	2,47
Nouméa	Motor Pool	31,31	12	0,38	0,20	0,67
Nouméa	N'Gea	43,41	29	0,67	0,45	0,96
Nouméa	Normandie	69,128	68	0,98	0,76	1,25
Nouméa	Nouvelle	26,951	36	1,34	0,94	1,85
Nouméa	Numbo-Koumourou	3,675	4	1,09	0,30	2,79
Nouméa	Orphelinat	20,396	6	0,29	0,11	0,64
Nouméa	Ouémo	23,483	11	0,47	0,23	0,84
Nouméa	PK4	39,192	58	1,48	1,12	1,91
Nouméa	PK6	43,651	34	0,78	0,54	1,09
Nouméa	PK7	59,014	32	0,54	0,37	0,77
Nouméa	Portes de Fer	63,606	56	0,88	0,67	1,14

Nouméa	Quartier Latin	21,13	21	0,99	0,62	1,52
Nouméa	Receiving	4,65	2	0,43	0,05	1,55
Nouméa	Rivière Salée	139,658	163	1,17	0,99	1,36
Nouméa	Tina	26,868	17	0,63	0,37	1,01
Nouméa	Tindu	31,922	65	2,04	1,57	2,6
Nouméa	Trianon	41,644	21	0,50	0,31	0,77
Nouméa	Val Plaisance	53,589	28	0,52	0,35	0,76
Nouméa	Vallée des Colons	145,628	81	0,56	0,44	0,69
Nouméa	Vallée du Génie	5,024	2	0,40	0,05	1,44
Nouméa	Vallée du Tir	31,017	46	1,48	1,09	1,98



Médicaments pour asthme

Commune	Quartier	Nombre de médicaments attendus	Nombre de médicaments observés	SIR	Borne inférieure SIR	Borne supérieure SIR
Dumbéa	Auteuil	493,86	245	0,50	0,44	0,56
Dumbéa	Cœur de Ville	637,85	427	0,67	0,61	0,74
Dumbéa	Dumbéa/mer	188,54	132	0,70	0,59	0,83
Dumbéa	Koutio	1924,24	2049	1,06	1,02	1,11
Le Mont-Dore	Boulari	363,95	684	1,88	1,74	2,03
Le Mont-Dore	La Conception	192,11	257	1,34	1,18	1,51
Le Mont-Dore	Pont des Français	187,08	177	0,95	0,81	1,10
Le Mont-Dore	Robinson	1000,40	1371	1,37	1,30	1,44
Le Mont-Dore	Saint-Michel	328,36	574	1,75	1,61	1,90
Le Mont-Dore	Yahoué	608,78	656	1,08	1,00	1,16
Nouméa	Anse Vata	703,16	432	0,61	0,56	0,68
Nouméa	Artillerie	369,77	172	0,47	0,40	0,54
Nouméa	Aérodrome	880,02	812	0,92	0,86	0,99
Nouméa	Baie des Citrons	532,87	209	0,39	0,34	0,45
Nouméa	Centre Ville	431,53	498	1,15	1,05	1,26
Nouméa	Doniambo	47,44	85	1,79	1,43	2,22
Nouméa	Ducos	425,57	564	1,33	1,22	1,44
Nouméa	Ducos Industriel	266,53	316	1,19	1,06	1,32
Nouméa	Faubourg Blanchot	622,13	435	0,70	0,64	0,77
Nouméa	Haut-Magenta	453,28	387	0,85	0,77	0,94
Nouméa	Kaméré	556,80	708	1,27	1,18	1,37
Nouméa	Logicoop	296,30	340	1,15	1,03	1,28
Nouméa	Magenta	1509,84	1132	0,75	0,71	0,79
Nouméa	Montagne coupée	50,36	60	1,19	0,91	1,53
Nouméa	Montravel	443,26	626	1,41	1,30	1,53
Nouméa	Motor Pool	427,68	388	0,91	0,82	1,00
Nouméa	N'Gea	550,75	634	1,15	1,06	1,24
Nouméa	Normandie	837,88	743	0,89	0,82	0,95
Nouméa	Nouvelle	371,03	202	0,54	0,47	0,62
Nouméa	Numbo-Koumourou	48,26	37	0,77	0,54	1,06
Nouméa	Orphelinat	281,11	284	1,01	0,90	1,13
Nouméa	Ouémo	318,03	133	0,42	0,35	0,50
Nouméa	PK4	495,72	573	1,16	1,06	1,25
Nouméa	PK6	549,50	644	1,17	1,08	1,27
Nouméa	PK7	742,59	655	0,88	0,82	0,95
Nouméa	Portes de Fer	849,66	771	0,91	0,84	0,97

Nouméa	Quartier Latin	327,11	214	0,65	0,57	0,75
Nouméa	Receiving	61,46	47	0,76	0,56	1,02
Nouméa	Rivière Salée	1776,41	2823	1,59	1,53	1,65
Nouméa	Tina	324,99	131	0,40	0,34	0,48
Nouméa	Tindu	377,05	468	1,24	1,13	1,36
Nouméa	Trianon	586,21	569	0,97	0,89	1,05
Nouméa	Val Plaisance	749,89	365	0,49	0,44	0,54
Nouméa	Vallée des Colons	2012,10	1673	0,83	0,79	0,87
Nouméa	Vallée du Génie	65,08	89	1,37	1,10	1,68
Nouméa	Vallée du Tir	397,50	873	2,20	2,05	2,35

6.8 Autocorrélation spatiale

Grâce à l'indice de Moran, on recherche s'il existe une autocorrélation spatiale entre les SMR ou SIR des différents quartiers de la zone d'étude. Cette recherche est faite préalablement aux modèles cherchant à mettre en lien pollution et indicateurs sanitaires, afin de savoir s'il faut tenir compte du fait que les indicateurs de santé dans des quartiers limitrophes ont plus tendance à se ressembler, que des indicateurs de quartiers éloignés.

	Indice de Moran	p value
SMR cardiovasculaire	0,02	0,068
SMR respiratoire	-0,02	0,921
SMR cancer du poumon	-0,0055	0,470
SIR cardiovasculaire	0,05	0,002
Infarctus du myocarde	-0,02	0,946
Accident vasculaire cérébral	0,03	0,020
Troubles du rythme	0,005	0,232
SIR respiratoire	0,16	<0,0001
Asthme	0,13	<0,0001
BPCO	0,04	0,006
Infections respiratoires	0,19	<0,0001
SIR médicaments asthme	0,01	0,231

Tableau : Détail des valeurs de l'indice de Moran pour chaque taux standardisé,

Si les tests d'autocorrélation spatiale sont non significatifs en ce qui concerne la mortalité (néanmoins proche du seuil de signification pour les SMR cardiovasculaires), ils sont souvent significatifs en ce qui concerne les hospitalisations (Tableau). Ceci indique que le nombre d'hospitalisations dans un quartier n'est pas totalement indépendant de celui des quartiers voisins. Au vu de ces résultats, l'autocorrélation spatiale a donc été prise en compte dans les modèles de Poisson grâce à l'utilisation d'une matrice de corrélation spatiale qui permet d'obtenir des résultats non biaisés.

6.9 Modèles univariés

➤ Indicateurs de santé – SO₂

Mortalité	Modèle univarié		
	RR	SO ₂ IC95%	p
cardiovasculaire	1,38	0,95-2,01	0,088
respiratoire	1,52	0,77-2,98	0,220
cancer poumon	1,45	0,82-2,57	0,195

Tableau : Relation entre les moyennes de SO₂ et la mortalité sans ajustement sur l'indice de défaveur

Hospitalisations	Modèle univarié		
	RR	SO ₂ IC95%	p
cardiovasculaires	1,05	0,79-1,38	0,738
infarctus	1,31	0,86-1,98	0,200
AVC	1,59	1,18-2,16	0,003
troubles du rythme	0,66	0,44-0,99	0,046
respiratoires	1,45	0,98-2,15	0,065
asthme	1,72	1,15-2,58	0,009
BPCO	2,16	1,25-3,72	0,007
infections respiratoires	1,55	1,04-2,31	0,032

Tableau : Relation entre les moyennes de SO₂ et les hospitalisations sans ajustement sur l'indice de défaveur

Médicaments	Modèle univarié		
	RR	SO ₂ IC95%	p
Asthme	1,08	0,67-1,74	0,742

Tableau : Relation entre les moyennes de SO₂ et la délivrance de médicaments pour asthme sans ajustement sur l'indice de défaveur

➤ Indicateurs de santé – PM10

Mortalité	Modèle univarié PM10		
	RR	IC95%	p
cardiovasculaire	1,004	0,73-1,37	0,982
respiratoire	1,57	0,79-3,13	0,197
cancer du poumon	0,91	0,56-1,46	0,680

Tableau : Relation entre les moyennes de PM10 et la mortalité sans ajustement sur l'indice de défaveur

Hospitalisations	Modèle univarié PM10		
	RR	IC95%	p
cardiovasculaires	0,93	0,77-1,14	0,486
infarctus	1,23	0,86-1,75	0,251
AVC	0,83	0,62-1,11	0,207
troubles du rythme	0,87	0,68-1,11	0,259
respiratoires	0,87	0,61-1,23	0,416
asthme	0,82	0,56-1,21	0,313
BPCO	0,76	0,44-1,34	0,337
infections respiratoires	0,79	0,54-1,15	0,214

Tableau : Relation entre les moyennes de PM10 et les hospitalisations sans ajustement sur l'indice de défaveur

Médicaments	Modèle univarié PM10		
	RR	IC95%	p
Asthme	0,98	0,69-1,38	0,903

Tableau : Relation entre les moyennes de PM10 et la délivrance de médicaments pour asthme sans ajustement sur l'indice de défaveur

➤ Indicateurs de santé – NO₂

Mortalité	Modèle univarié		
	RR	NO ₂ IC95%	p
cardiovasculaire	1,17	0,80-1,70	0,417
respiratoire	0,87	0,40-1,92	0,733
cancer poumon	0,89	0,47-1,68	0,710

Tableau : Relation entre les moyennes de NO₂ et la mortalité sans ajustement sur l'indice de défaveur

Hospitalisations	Modèle univarié		
	RR	NO ₂ IC95%	p
cardiovasculaires	1,05	0,84-1,32	0,635
infarctus	0,97	0,61-1,55	0,894
AVC	0,95	0,65-1,41	0,806
troubles du rythme	1,17	0,85-1,62	0,315
respiratoires	1,03	0,72-1,48	0,864
asthme	1,03	0,64-1,64	0,908
BPCO	0,70	0,31-1,55	0,364
infections respiratoires	0,92	0,62-1,37	0,681

Tableau : Relation entre les moyennes de NO₂ et les hospitalisations sans ajustement sur l'indice de défaveur

Médicaments	Modèle univarié		
	RR	NO ₂ IC95%	p
Asthme	1,15	0,83-1,60	0,397

Tableau : Relation entre les moyennes de NO₂ et la délivrance de médicaments pour asthme sans ajustement sur l'indice de défaveur

➤ Indicateurs de santé – Indice de défaveur

Mortalité	Modèle univarié		
	IDD		
	RR	IC95%	p
cardiovasculaire	1,06	1,01-1,11	0,017
respiratoire	1,10	1,02-1,20	0,020
cancer poumon	1,04	0,97-1,13	0,249

Tableau : Relation entre l'indice de défaveur (IDD) et la mortalité sans ajustement sur les polluants

Hospitalisations	Modèle univarié		
	IDD		
	RR	IC95%	p
cardiovasculaires	1,05	1,03-1,08	<0,0001
infarctus	1,04	0,99-1,10	0,122
AVC	1,08	1,04-1,12	<0,0001
troubles du rythme	0,999	0,96-1,04	0,950
respiratoires	1,17	1,13-1,20	<0,0001
asthme	1,17	1,12-1,23	<0,0001
BPCO	1,24	1,16-1,32	<0,0001
infections respiratoires	1,17	1,14-1,21	<0,0001

Tableau : Relation entre l'indice de défaveur (IDD) et les hospitalisations sans ajustement sur les polluants

Médicaments	Modèle univarié		
	IDD		
	RR	IC95%	p
Asthme	1,12	1,07-1,17	<0,0001

Tableau : Relation entre l'indice de défaveur et la délivrance de médicaments pour asthme sans ajustement sur les polluants