

ENSP
ECOLE NATIONALE DE
LA SANTE PUBLIQUE

RENNES



Ingénieur du Génie Sanitaire
Promotion 2005

Faisabilité d'une évaluation d'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine à la Réunion

Présenté par : **Manuel MARQUIS**
ENSI de Bourges

Référents professionnels : **Chatrapatty BHUGWANT**
Jean-Louis SOLET

Référent pédagogique : **Philippe GLORENNEC**

Remerciements

Je remercie toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de cette étude.

Ces remerciements s'adressent particulièrement:

- Aux personnes qui m'ont accueilli, encadré, conseillé et aidé dans ma démarche: M. Chatrapatty Bhugwant (ORA), M. Jean-Louis Solet (Cire Réunion-Mayotte) et M. Philippe Glorennec (ENSP).
- A M. Bruno Siéja, Directeur de l'ORA, et au bureau de l'association pour m'avoir accueilli dans leur structure et permis d'effectuer ce stage dans des conditions matérielles et humaines optimales.
- Aux organismes fournisseurs de données et aux personnes m'ayant permis d'exploiter ces données: M. Jacques Ronat (DRASS), Mme Christine Catteau (DRASS), M. Emmanuel Chirpaz (CHFG), M. Patrick Laforêt (CSC) M. Guillaume Jumaux (Météo France), Mme Manuela Grondin (INSEE),
- A l'ensemble du personnel de l'ORA pour son accueil chaleureux, son amabilité et ses multiples ressources: Mme Sandra Pirbakas (Secrétariat), M. Christian Guadagno et M. Guillaume Peris (service technique), M. Fabien Georgel (service communication).
- A Mme Béatrice Roudaut, de l'ENSP pour sa disponibilité et pour les documents transmis.
- A ManuR, l'autre, pour son soutien de tous les jours.

Sommaire

Introduction	9
1 Contexte et enjeux.....	10
1.1 Généralités.....	10
1.1.1 Un peu d'histoire	10
1.1.2 Un enjeu sanitaire	10
1.1.3 Cadre réglementaire	11
1.2 Contexte du mémoire.....	12
1.2.1 La Réunion en bref	12
1.2.2 La qualité de l'air à la Réunion	13
1.3 Une EIS à la Réunion ?	19
1.3.1 La démarche d'évaluation d'impact sanitaire de la pollution atmosphérique (EIS-PA)	19
1.3.2 Pertinence de la démarche et attentes locales	21
1.3.3 Objectifs du stage.....	22
2 Méthodes.....	23
2.1 Démarche.....	23
2.1.1 Principes généraux	23
2.1.2 Données de qualité de l'air	24
2.1.3 Données sanitaires	24
2.1.4 Eléments bibliographiques	25
2.1.5 Calculs et discussions	25
2.2 Identification du danger.....	25
2.2.1 Rappels sur les principaux polluants.....	25
2.2.2 Effets sanitaires observables	26
2.3 Définition de la zone d'étude.....	26
2.3.1 Présentation.....	26
2.3.2 Délimitation de la zone	27
2.3.3 Synthèse.....	29
3 Faisabilité d'une EIS à Saint Denis: résultats	31
3.1 Connaissance de l'exposition.....	31
3.1.1 Période d'étude.....	31
3.1.2 Stations de surveillances de la qualité de l'air	32
3.1.3 Indicateurs d'exposition	33
3.2 Connaissance du risque de base	35
3.2.1 Données sanitaires de mortalité.....	35
3.2.2 Données sanitaires de morbidité.....	36

3.2.3	Commentaires	37
3.3	Choix des relations exposition/risque.....	37
3.3.1	Généralités	37
3.3.2	Etudes bibliographiques - Relations alternatives	38
3.3.3	Relations retenues	40
3.4	Calcul d'EIS, Première approche.....	40
3.4.1	EIS « standard »	40
3.4.2	Variabilité des résultats par rapport aux relations exposition/risque issues de la bibliographie.....	41
4	<i>Discussion</i>	44
4.1	Interprétation et limites des résultats.....	44
4.2	Analyse des incertitudes.....	44
4.2.1	Exposition	44
4.2.2	Indicateurs sanitaires	46
4.2.3	Relations exposition/risque	47
4.2.4	Autres facteurs	49
4.3	Hierarchisation des incertitudes.....	49
5	<i>Conclusions – Recommandations</i>.....	50
5.1	Faisabilité d'une EIS : bilan	50
5.2	Conclusions.....	51
5.3	Perspectives.....	51
5.3.1	Surveillance de la qualité de l'air	51
5.3.2	Evaluation des impacts sanitaires	52
	<i>Conclusion</i>	53
	<i>Bibliographie</i>.....	57
	<i>Principaux sites Internet utilisés</i>	57
	<i>Liste des tableaux</i>.....	59
	<i>Liste des figures</i>	61
	<i>Liste des annexes</i>.....	I

Liste des acronymes et sigles utilisés

AASQA : Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air

ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

APHEA : Air Pollution on Health: European Approach

AREFORCAL: Association Régionale pour la Formation en Allergologie

ARH : Agence Régionale d'Hospitalisation

BET : Budget Espace-Temps

CHFG: Centre Hospitalier Félix Guyon

CIRE Cellule Interrégionale d'Epidémiologie

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

CO : Symbole du monoxyde de carbone

CO2: Symbole du dioxyde de carbone

DDE : Direction Départementale de l'Équipement

DIM : Département d'Information Médicale

DIREN : Direction Régionale de l'Environnement

DP : Diagnostic Principal

DRIRE : Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement

EIS (-PA) : Evaluation d'Impact Sanitaire (de la Pollution Atmosphérique)

EDF : Electricité de France

FINESS : Fichier National des Établissements Sanitaires et Sociaux

IC : Intervalle de Confiance

ICPE : Installations Classées pour la Protection de l'Environnement

IGN : Institut Géographique National

INSEE : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques

InVS : Institut de Veille Sanitaire

IRIS : Ilots Regroupés pour l'Information Statistique

LAURE : Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie

NH3:Symbole de l'ammoniac

NO : Symbole du monoxyde d'azote (ou oxyde nitrique)

NO₂ : Symbole du dioxyde d'azote

NO_x : Symbole pour les oxydes d'azote (NO + NO₂)

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

ORA : Observatoire Réunionnais de l'Air

PDU : Plan de Déplacements Urbains

PMSI : Programme de Médicalisation des Systèmes d'Information

PPA : Plan de Protection de l'Atmosphère

PRQA : Plan Régionaux pour la Qualité de l'Air

PSAS-9 : Programme de Surveillance Air et Santé – 9 villes

PSQA : Plan de Surveillance de la Qualité de l'Air

RMI: Revenu Minimum d'Insertion

RR : Risques Relatifs

RSA : Résumé de Sortie Anonymisé

RUM : Résumé d'Unité Médicale

SO₂ : Symbole du dioxyde de soufre

INTRODUCTION

Les effets délétères d'une mauvaise qualité de l'air sont nombreux et imputables à de multiples facteurs, liés tout à la fois à l'impact de l'activité humaine et à des composantes naturelles inévitables. La contribution humaine à la pollution atmosphérique constitue une problématique aux multiples facettes, ayant des répercussions sur l'environnement et la santé à des échelles extrêmes, allant de l'air intérieur d'une habitation au réchauffement global de la planète.

L'absence de seuil d'innocuité décelable de la pollution atmosphérique urbaine est établie par de nombreux travaux épidémiologiques. L'évaluation de l'impact sanitaire, préconisée par les instances sanitaires nationales et internationales, permet de répondre aux exigences, désormais réglementaires, d'estimation des effets sur la santé humaine de la pollution de l'air urbain. Cette méthode s'intègre idéalement à ce titre dans les plans locaux de gestion de la qualité de l'air en France.

Dans le cadre des travaux préalables à la mise en place du Plan Régional de la Qualité de l'Air à l'île de la Réunion, l'Observatoire Réunionnais de l'Air et la Cellule interrégionale d'épidémiologie Réunion-Mayotte ont proposé d'étudier la faisabilité d'une évaluation d'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine. Elle est en effet conditionnée à :

- l'adéquation de la méthodologie classique d'estimation de l'exposition au contexte géographique spécifique de la Réunion ;
- l'adéquation au contexte (pollution et population) des coefficients exposition/risque disponibles, établis pour la plupart en Amérique et Europe.

L'analyse des données disponibles localement et de références méthodologiques et bibliographiques permettra de proposer une démarche pour évaluer l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine dans ce contexte particulier.

1 CONTEXTE ET ENJEUX

1.1 Généralités

1.1.1 Un peu d'histoire

Au cours du XX^e siècle, la pollution de l'air a été responsable d'épisodes d'augmentation soudaine et importante de la mortalité. Le problème de la pollution atmosphérique liée à l'activité humaine est connu de longue date, mais il n'a réellement préoccupé l'opinion qu'à la suite de ces événements majeurs. Après l'accident de la vallée de la Meuse en 1930 (brouillards chargés de composés de soufre) c'est particulièrement l'épisode du *smog* de Londres en 1952 qui marque les esprits avec quelques 4000 morts précipitées en quelques 15 jours, dues à de très fortes pollutions en dioxyde de soufre et en particules. D'autres épisodes ont lieu en 1956, 1957 et 1962, qui provoquent une réelle prise de conscience des responsables industriels et politiques et incitent la mise en place de dispositifs visant à réduire les émissions liées aux activités industrielles et au chauffage résidentiel. Dans les années qui suivent, le monde scientifique et les décideurs s'accordent à considérer les risques pour la santé de la pollution atmosphérique comme associés à des expositions massives résultant d'une combinaison d'émissions fortes et « d'accidents » météorologiques empêchant leur dispersion¹. Les politiques de réduction des rejets mises en oeuvre, permettent une baisse considérable des niveaux de pollution en Europe, incitant alors à l'optimisme².

Par la suite, à partir des années 80, les progrès réalisés dans les méthodes d'études épidémiologiques ont permis de mettre en évidence le lien entre des niveaux de pollution relativement faibles et la survenue d'effets sanitaires (mortalité et morbidité) à court terme². Parallèlement, la prise de conscience du rôle majeur et croissant du trafic automobile dans la pollution atmosphérique urbaine a amené à des évolutions importantes en matière de gestion de la qualité de l'air. Enfin, ces dernières années, des travaux sur la mortalité à long terme et sur l'absence de seuil d'innocuité pour la pollution atmosphérique amènent à reconsidérer l'importance de ce problème et à relativiser le bénéfice sanitaire des politiques précédemment mises en oeuvre. L'amélioration des connaissances scientifiques a paradoxalement révélé des menaces auparavant inconnues, plus insidieuses et concernant des laps de temps plus longs.

1.1.2 Un enjeu sanitaire

D'après l'article 2 de la loi sur l'air de 1996³(Cf. 1.1.3C) *ci-dessous*) une «*pollution atmosphérique*» consiste en «*l'introduction par l'homme, directement ou indirectement, dans l'atmosphère ou dans les espaces clos, de substances ayant des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, à influencer sur les changements climatiques, à détériorer les biens matériels, à provoquer des nuisances olfactives excessives*». La pollution atmosphérique concerne donc aussi bien les nuisances pour l'environnement que les dangers pour la santé humaine, et constitue à ce titre un enjeu de santé environnementale.

Depuis une dizaine d'années, de nombreuses études épidémiologiques ont mis en évidence de façon convergente la responsabilité très probable des phénomènes de pollution atmosphérique à l'échelle locale (urbaine) dans des effets sanitaires à court terme (symptômes respiratoires, diminution des performances ventilatoires, allergies, asthme...) ou à long terme (décès anticipés, cancers...) ^{4,5,6}.

La problématique locale n'est donc plus de démontrer l'existence des effets sanitaires de la pollution mais plutôt d'évaluer son impact. De manière générale selon une étude menée par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS)⁷, la pollution atmosphérique urbaine serait responsable de 10 à 30 milliers de décès anticipés par an en France. Le Haut Comité de la Santé Publique affirme en 2000¹ que « la pollution est encore un problème de santé

publique, par ses conséquences à long terme ainsi que, pour les personnes les plus fragiles, par ses effets à court terme». En effet, si les excès de risques induits par la pollution atmosphérique sont généralement faibles pour un individu, cette pollution concerne en revanche des millions de personnes, ce qui explique un tel impact. Au niveau mondial, l'OMS estime que « 3 millions de personnes meurent chaque année sous l'effet de la pollution atmosphérique, soit 5% des 55 millions de décès annuels dans le monde. Vue la marge d'incertitude des estimations, le nombre réel des décès annuels pourrait se situer entre 1,4 et 6 millions »⁸.

La lutte contre la pollution atmosphérique urbaine doit donc être une priorité en matière de santé publique au niveau national et international. Les études d'impact sanitaire et la mise en place de politiques adéquates au niveau local s'inscrivent donc dans ce cadre.

1.1.3 Cadre réglementaire

A) Recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé

L'OMS définit des directives pour la qualité de l'air⁹ devant servir de support scientifique à l'établissement des normes nationales et régionales de qualité de l'air. Ces directives représentent une référence de santé publique, en fixant notamment des valeurs guides, définies comme la concentration au-dessous de laquelle une exposition – pendant une période donnée – ne devrait pas engendrer de risques significatifs en santé publique. (Voir en Annexe 1 les principales valeurs recommandées par l'OMS pour la qualité de l'air en Europe)

B) Législation européenne

La directive 92/62/CE, dite « directive cadre », a été adoptée le 27 septembre 1996 par le conseil européen. Elle concerne l'évaluation et la gestion de la qualité de l'air ambiant. Afin d'améliorer la qualité de l'air, elle définit des principes de bases qui doivent permettre:

- « d'arrêter des objectifs concernant la qualité de l'air ambiant ;
- d'établir des méthodes et des critères communs d'évaluation de l'air;
- de disposer et de diffuser des informations sur la qualité de l'air. »ⁱ

En application de cette directive cadre de 1996, trois « directives filles » fixent différents seuils réglementaires concernant les polluants surveillés (valeurs limites, seuils d'alerte, valeurs cibles, objectifs à long terme, seuils d'information).

Les principaux seuils communautaires relatifs aux concentrations dans l'air ambiant sont ainsi stipulés dans les directives 1999/30/CE (dioxyde de soufre, oxydes d'azote, particules et plomb), 2000/69/CE (benzène et le monoxyde de carbone), 2002/3/CE (ozone), 2004/107/CE (arsenic, cadmium, mercure, nickel, hydrocarbures aromatiques polycycliques). (Voir en Annexe 1)

C) Législation nationale

La prise en compte de l'air en droit français trouve sa source dans les préoccupations d'hygiène et de salubrité publique du 19^{ème} siècle. En effet, le droit de l'air est intégré au droit des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) et en particulier à la loi n° 76-616 du 19 juillet 1976.

La première loi à prendre véritablement en compte la pollution atmosphérique non uniquement d'origine industrielle, est la loi du 2 août 1961 relative à la lutte contre les

ⁱ D'après le site Internet SCADPlus: Gestion et qualité de l'air ambiant (portail Europa):

<http://europa.eu.int/scadplus/leg/fr/lvb/l28031a.htm>

pollutions atmosphériques et les odeurs. Cette loi a été modifiée et complétée par la Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie (dite LAURE)³ du 30 décembre 1996. Il s'agit de la transposition en droit français de la directive cadre européenne sur l'air de 1996. L'objectif de cette loi est innovant car il concerne « la mise en œuvre du droit reconnu à chacun à respirer un air qui ne nuise pas à sa santé ».

Pour atteindre cet objectif, la LAURE instaure des dispositifs de surveillance et d'information, des outils de planification, des mesures techniques, des dispositions financières et fiscales, des contrôles et des sanctions.

L'un des apports de la LAURE réside dans le fait que la surveillance de la qualité de l'air incombe désormais à l'Etat et aux collectivités locales dans « le respect de leur libre administration et des principes de décentralisation ». La mise en œuvre de la surveillance est confiée, dans chaque région, à un ou des organismes agréés.

Pour faciliter son application, la LAURE a institué un système de planification :

- le Plan Régional pour la Qualité de l'Air (PRQA) établit le bilan de la pollution atmosphérique et fixe les orientations pour atteindre les objectifs de qualité de l'air à l'échelle de la région. Ce document, élaboré sous la responsabilité du Préfet de région assisté d'un comité régional, est réévalué au maximum tous les cinq ans. Il doit notamment comporter une évaluation des effets de la qualité de l'air sur la santé.
- le Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA) est élaboré par le préfet après consultation de certains organismes (DIREN, DRIRE...). La création de ce plan est obligatoire dans les agglomérations de plus de 250 000 habitants ou dans les zones où les valeurs limites sont dépassés.
- le Plan de Déplacements Urbains (PDU): il s'agit d'un plan déjà ancien puisqu'il résulte de la loi du 30 décembre 1982 (loi d'orientation des transports intérieurs). La LAURE vient renforcer et modifier le dispositif déjà existant. En effet, elle prévoit désormais l'obligation d'établir un tel plan dans les agglomérations de plus de 100 000 habitants. Les objectifs sont, entre autres, de diminuer les pollutions causées par le trafic routier et de promouvoir les modes de déplacements qui seraient moins polluants et moins consommateurs d'énergie. L'élaboration de ce plan est confiée à l'autorité ayant en charge l'organisation des transports en collaboration avec les services de l'Etat.

Ces trois types de plans doivent impérativement être compatibles entre eux.

La LAURE définit également ce que sont les objectifs de qualité, les seuils d'alerte et les valeurs limites (*voir en Annexe 1*) et fixe les mesures d'urgence à prendre lorsque les seuils d'alerte sont atteints. Cette loi est désormais codifiée dans le Code de l'Environnement au titre II « air et atmosphère » du livre II « milieux physiques » (de l'article L220-1 à l'article L228-2) et au titre II « information et participation des citoyens » du livre I^{er} « dispositions communes » (article L125-4).

1.2 Contexte du mémoire

1.2.1 La Réunion en bref ^{10,11,12}

A) Géographie et climat ¹²

Département français depuis 1946, l'île de la Réunion se situe au sud-ouest de l'océan indien, à l'Est de Madagascar. Elle fait partie avec les îles Maurice et Rodrigues, de l'archipel des Mascareignes. Orientée dans la direction nord-ouest/sud-est sur une longueur maximale de 70 km, elle accuse un relief très marqué, avec un volcan en activité (2630 m) et un point culminant à 3 070 mètres (le Piton des Neiges), pour une superficie d'environ 2 500 km². Proche du tropique du Capricorne, la Réunion est soumise à un climat tropical humide. On distingue deux saisons : l'hiver austral, de mai à octobre, avec des précipitations plus faibles

et des températures plus fraîches; et l'été, de novembre à avril, marqué par une température plus élevée, une hygrométrie plus importante et des précipitations abondantes. L'été est également la saison dite cyclonique au cours de laquelle peuvent se former des dépressions tropicales.

L'île est soumise au régime des alizés, qui sont des vents permanents et réguliers parfois assez forts, soufflant d'est en ouest dans les océans tropicaux. Ils sont générés par le gradient qui existe entre les hautes pressions subtropicales et les basses pressions équatoriales. Pour la Réunion, leur direction dominante est l'est-sud-est et leur période d'activité maximale est la saison fraîche de mai à octobre.

L'amplitude diurne et annuelle des températures pour un lieu donné de l'île est très faible de 5 à 7°C environ. La température moyenne décroît avec l'altitude, variant entre 21°C l'hiver et 26°C l'été sur le littoral et entre 12°C et 17°C dans les hauts. Le climat réunionnais se caractérise surtout par de grandes variabilités liées à la géographie de l'île, donc par des microclimats. Les influences conjuguées du relief et de l'insularité provoquent des phénomènes de brise (brise de terre la nuit et brise de mer le jour) et permettent de distinguer deux zones. La côte « au vent » à l'est, est directement soumise aux alizés et donc à une pluviométrie très importante, quelle que soit la saison. A l'inverse, la côte « sous le vent » à l'ouest, est protégée des alizés par les reliefs de l'île, le climat y est donc beaucoup moins humide et les régimes de brise prédominants. (Voir en Annexe 2 pour des précisions sur le climat de la Réunion)

B) Population et économie¹¹

Moins d'un cinquième des 766 000 habitants (estimation INSEE au 1 janvier 2004) résident sur les trois quarts de la superficie de la Réunion caractérisée par « les Hauts », d'une altitude supérieure à 800 mètres. L'essentiel de la population vit le long des côtes, là où se concentre également le plus gros de l'activité économique. La Réunion ne compte que 24 communes toutes de taille importante (moyenne de 31 900 habitants). L'unité urbaine de Saint-Denis, le chef-lieu, abrite 158 000 habitants; c'est la plus grande ville de l'outre-mer. La part des 25-60 ans est de plus de 45 %, ce qui explique une faible mortalité. Le nombre de ménages et la population active sont ainsi en constante augmentation ce qui place la région face à des défis majeurs aux premiers rangs desquels l'emploi (chômage important), le logement et la formation.

Des éléments sur l'économie réunionnaise sont fournis en *Annexe 2*.

Avec un parc automobile de plus de 280 000 véhicules (en 2003) pour 369 Km de routes nationales l'île est de plus en plus soumise à la pression du trafic automobile et aux encombrements associés. Le parc automobile a en effet doublé entre 1990 et 2003 (*cf. Tableau 1*)¹².

Tableau 1 Evolution du parc automobile au 1er Janvier Source: INSEE¹²

Nombre	1990	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Métropole	26 833 500	29 784 618	30 135 121	29 272 165	29 807 799	30 330 382	30 590 743
La Réunion	139 000	219 500	234 578	247 751	258 400	271 065	280 771

1.2.2 La qualité de l'air à la Réunion

Les travaux scientifiques sur la qualité de l'air à La Réunion sont relativement restreints et majoritairement assez récents, puisque principalement liés à la mise en place de l'Observatoire Réunionnais de l'Air (ORA) et de son réseau de surveillance (1999-2000). Toutefois, plusieurs études ont été menées depuis 1998, qui permettent de définir un diagnostic de base. Ces travaux ont notamment été repris dans les réflexions préalables à l'élaboration du PRQA¹³ à la Réunion et du PSQA¹⁴ de l'ORA.

A) Surveillance de l'air

En France, l'état confie la mise en œuvre de la surveillance de la pollution atmosphérique à un ou des organismes agréés dans chaque région, les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA). Ces associations regroupent l'ensemble des partenaires locaux impliqués dans la gestion de la qualité de l'air. La Fédération ATMO représente l'ensemble des 39 AASQA - France et Outre Mer. Sous la responsabilité du ministère en charge de l'environnement elles ont pour missions¹⁵ :

- de gérer le dispositif technique de mesures (réseaux locaux, départementaux, régionaux et stations incluses dans des programmes nationaux ou internationaux),
- de mettre localement en œuvre des procédures d'assurance qualité à tous les niveaux de la chaîne de mesurage régionale ou locale, en lien avec le Laboratoire central de la surveillance de la qualité de l'air (LCSQA),
- de collecter, de valider et de traiter les données issues des stations mises en place dans leur zone de compétence,
- d'assurer une large diffusion des informations recueillies par le biais de rapports, bulletins, serveurs télématiques, répondsurs téléphoniques, supports médiatiques...,
- de transmettre dans un court délai, selon le cas, aux autorités compétentes (préfet, DDASS, etc...) les informations relatives à la prévision et à la détection des dépassements des niveaux et seuils préalablement définis,
- de transmettre, régulièrement, ces données à la base nationale des données de la qualité de l'air (BDQA) afin de l'actualiser,
- d'effectuer des études à la demande de l'état et des acteurs locaux, dans le cadre de leur mission de surveillance.

A la Réunion, l'ORA est l'organisme en charge de la surveillance de la qualité de l'air. Créé en 1998, c'est une association sans but lucratif, régie par la loi du 1er juillet 1901 et agréée par le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement suivant l'arrêté ministériel du 20 avril 2004. A ce titre, elle est gérée par un conseil d'administration de 22 membres appartenant aux collèges suivants : Etat (DRIRE), ADEME, collectivités territoriales, activités contribuant à l'émission des substances surveillées, associations et personnalités qualifiées. Pour mener à bien ses missions, l'ORA emploie six personnes à plein temps.

En 2005, le réseau de surveillance se compose de huit stations fixes de surveillance de la qualité de l'air, réparties dans cinq communes, d'une station mobile et d'un laboratoire mobile (*voir Annexe 3*). Les stations de mesures de la pollution urbaine de fond se situent uniquement sur la zone de Saint Denis. Les autres stations de mesures concernent exclusivement des sites industriels. Cependant, des campagnes de mesures ont été réalisées pour la mise en place d'autres stations de mesures en 2005-2006, sur la commune de St Pierre (sud de l'île).

Les techniques et protocoles de mesures correspondent aux standards en vigueur dans les AASQA et respectent les guides internes à la Fédération Atmo, en particulier pour la maintenance, l'étalonnage et la calibration des appareils.

B) Sources d'émission

a) Inventaires du CITEPA

Le Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique (CITEPA) réalise différents inventaires d'émission sur le territoire national, pour le compte du Ministère en charge de l'environnement :

- Un premier inventaire réalisé en 1997¹⁶ identifie les principales sources émettrices et montre que les émissions anthropiques des polluants (SO₂, NO_x, COV, CO, CO₂ et NH₃) ne permettent pas d'identifier systématiquement l'unité urbaine comme une zone d'émission primordiale (excepté pour le CO).

- Un inventaire concernant les émissions de gaz à effet de serre a été mis à jour en 2001¹⁷. Ce rapport identifie une augmentation des émissions de SO₂, NO_x, COV, NH₃ et CO₂ entre 1990 et 1998. Cependant les émissions de la Réunion rapportées à la population restent plus faibles qu'en métropole, ce qui pourrait s'expliquer par la part importante de la production d'électricité d'origine hydraulique (36 % en 1998) et par des particularités économiques de l'île (peu d'industrie lourde, agriculture moins intensive..).
- Un inventaire des Grandes Installations de Combustion (GIC) est réalisé chaque année¹⁸, en application des directives européennes 88/609/CEE et 2001/80/CE. Les installations concernées à la Réunion, sont les centrales thermiques du Gol, de Bois Rouge et du Port. Les objectifs européens en France sont respectés, mais les installations réunionnaises contribuent pour une part non négligeable aux émissions puisqu'elles se classent 12^e et 13^e pour les émissions respectives de SO₂ et de NO_x (sur un total de 26 régions).

b) L'industrie à la Réunion¹⁹

La DRIRE est chargée de l'inspection des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE). A la Réunion, elle recense en 2003 15 sites « de priorité nationale »¹⁹, c'est-à-dire :

- Etablissements de type SEVESO ;
- Installations de stockage ou d'élimination de déchets ;
- Installations rejetant à l'atmosphère, dans le milieu naturel ou en station d'épuration collective des polluants en flux importants.

Concernant les rejets dans l'air, les industries de production d'électricité sont les principales sources de pollution industrielle à la Réunion

Les deux graphes de la figure 1 illustrent l'évolution des émissions à l'atmosphère des établissements qui représentent les rejets industriels les plus importants. Les établissements concernés sont les centrales thermiques de Saint André (Compagnie Thermique de Bois Rouge) de Saint Louis (Compagnie Thermique du Gol) et du Port (EDF). On constate une forte tendance à l'augmentation entre les années 93 et 99. L'évolution récente est plutôt positive en particulier pour les installations EDF qui utilisent un combustible moins soufré depuis 2001. Les résultats présentés sont toutefois à interpréter avec précaution puisqu'ils s'appuient sur des données d'auto surveillance et des calculs théoriques de bilan matière ou des estimations à partir de facteurs d'émissions.

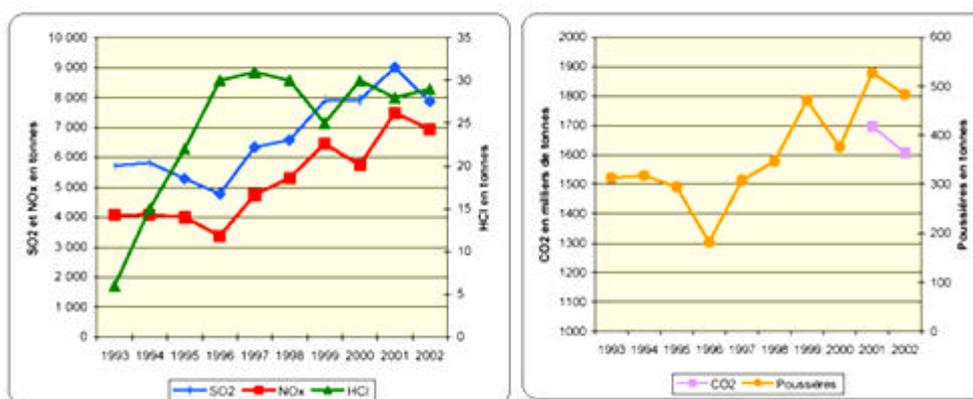


Figure 1 Evolution des principaux rejets atmosphériques industriels à la Réunion
(Source: DRIRE)

c) Trafic automobile

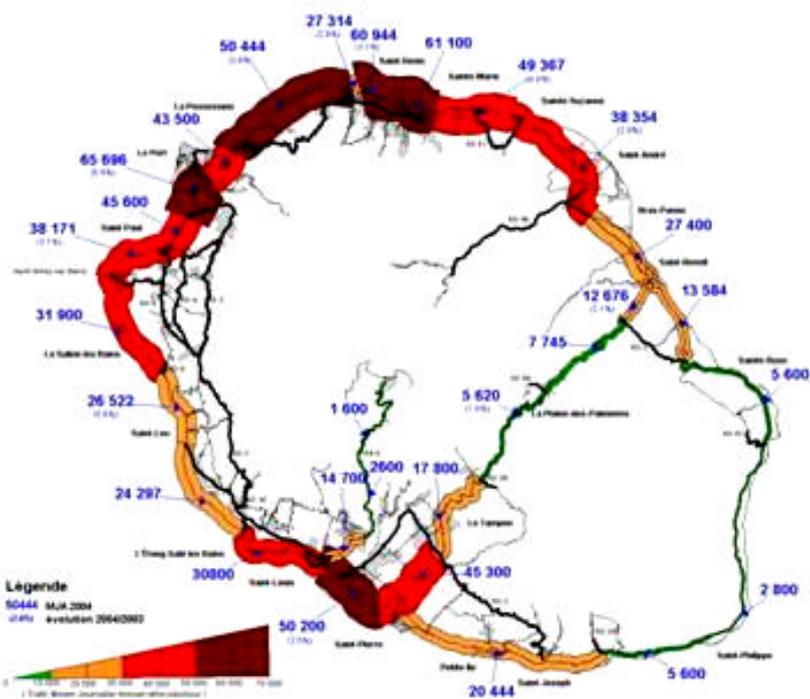


Figure 2 Trafic sur le réseau structurant (RN1, RN2, RN3) et RN5 Source: DDE

Sous la pression démographique et économique, les déplacements motorisés se sont fortement accrus ces dernières années à la Réunion. Ainsi, alors que la population a augmenté de 20% entre 1990 et 2000¹², le nombre de véhicule a augmenté d'environ 78% sur la même période (voir Tableau 1). Les travaux de l'ADEME²⁰ permettent d'identifier précisément les problématiques principales liées au trafic automobile sur l'île, on peut notamment citer :

- L'utilisation jusqu'en 2003-2004 de carburants échappant par dérogation aux normes européennes quant à leur teneur en soufre, ce qui conduit à des émissions vraisemblablement importantes de SO₂ (lors des pointes de trafic) et à des dysfonctionnements des véhicules ;
- La prépondérance des voitures particulières face aux transports en communs ;
- La polarisation des transports de marchandise sur la zone du Port à leur entrée ou leur sortie sur l'île ;
- L'utilisation pour les flux intercommunaux de seulement deux routes nationales périphériques (Figure 2) (à 2 ou 4 voies selon l'endroit), en raison de la topographie de l'île. Les flux considérables générés notamment à l'entrée des zones urbaines conduisent à des encombrements importants, générateurs de surconsommation et d'émissions polluantes particulièrement fortes à basse vitesse²⁰.

L'absence de station de mesure dédiée au trafic ne permet pas à l'ORA de prendre en compte directement les émissions imputables à ce facteur. Néanmoins des corrélations sont observées pour certains polluants par le réseau de surveillance de la pollution urbaine de fond (cf. 1.2.2C)c).

La mise aux normes européennes du carburant réunionnais (au 1^{er} janvier 2003 puis au 1^{er} janvier 2005) n'a pas entraîné de baisse de la concentration moyenne en SO₂ (très faible) mesurable par le réseau de surveillance urbain de fond, même si cette modification devrait certainement faire baisser les émissions de SO₂ en proximité des axes de trafic principaux.

d) Autres sources

Volcanisme

L'île de La Réunion est connue pour son volcan encore en activité, le Piton de la Fournaise. Une étude²¹ menée par l'ORA en 2001 a montré que l'éruption de juin 2001 avait eu un impact sur la qualité de l'air dans des zones urbaines éloignées du volcan. En effet, des pics de dioxyde de soufre ont été relevés sur plusieurs stations du réseau de mesure pendant la période d'activité du volcan, avec un facteur allant d'un facteur 1,5 à 5, suivant les stations. L'étude a montré que les éruptions peuvent contribuer à dégrader la qualité de l'air lorsque les conditions météorologiques favorisent une mauvaise dispersion conjuguée à une inversion thermique prononcée. A titre de comparaison, des études menées à Hawaii ont mis en évidence un impact sanitaire du volcanisme, attribuable cependant à des émissions plus fréquentes que ce que l'on peut observer à la Réunion²².

Pollens

Une étude a été mise en place à la Réunion de 1998 à 2001 par l'Association Régionale pour la Formation Continue en Allergologie (AREFORCAL) afin d'aboutir à la réalisation d'un calendrier pollinique (voir Annexe 4), dans le cadre de la recherche des facteurs de pathologies respiratoires. Cette étude a ainsi permis de mettre en évidence le fait que la pollinisation a lieu toute l'année à la Réunion (avec succession d'espèces), contrairement à ce que l'on constate en métropole où ce phénomène est généralement limité dans le temps. Les espèces présentes à la Réunion sont par ailleurs différentes et leur potentiel allergénique n'est pas connu. Les connaissances acquises sur les allergènes polliniques en métropole ne sont en effet pas extrapolables à la Réunion. Il reste par ailleurs à étudier la distribution spatiale des pollens sur l'île, puisque cette première étude a été réalisée uniquement sur Saint Denis.

Feux agricoles

L'ORA a pu relever occasionnellement des pics de pollution particulaire du fait de pratiques agricoles de brûlage, en particulier des champs de canne à sucre. Ces procédés, en principes interdits par la réglementation, sont fréquents à la Réunion. Ils induisent des concentrations importantes de particules (voir figure 3) en proximité des parcelles où peuvent se trouver des habitations.



Figure 3 Impact d'un feu de canne sur la qualité de l'air à proximité Source: ORA

C) Bilan

a) Approche globale

En 1998, un rapport sur la qualité de l'air à la Réunion a été réalisé²³, sur la base d'un diagnostic écolichenique et de la mesure du dioxyde de soufre par tubes passifs. Cette méthodologie a été largement utilisée à travers le monde et présente l'avantage d'être aisément transposable, sous certaines conditions. Cette première étude qualitative fait état d'une qualité de l'air globale très satisfaisante sur la majeure partie de l'île, tout en soulignant une dégradation importante en cours dans les centres urbains les plus importants (et en particulier dans la ville de Saint-Denis). Il s'agit d'un travail prospectif permettant d'avoir une première vision qualitative et globale (sous forme cartographique) de la qualité de l'air sur l'île. Cette étude a été menée à la demande de la DDASS et de l'ORS, suite au constat d'une pathologie respiratoire importante sur l'île.

b) Qualité de l'air dans les grandes agglomérations françaises

A partir des données des AASQA, le MEDD réalise chaque année depuis 2002 un bilan rétrospectif de l'évolution de la qualité de l'air dans les grandes agglomérations²⁴ (plus de 100000 habitants). A la Réunion, ce bilan concerne uniquement l'agglomération de Saint

Denis. Il permet d'effectuer une comparaison avec les grandes agglomérations françaises sur la base des concentrations moyennes annuelles mesurées:

- Concernant les PM₁₀ (particules fines), Saint-Denis se classe dans les cinq villes (sur 66) ayant la plus faible concentration moyenne annuelle aussi bien en 2002 qu'en 2003, mais avec des valeurs comparables à celles de métropole.
- Pour les NO_x (NO et NO₂) la moyenne annuelle relevée est nettement plus faible que dans les autres agglomérations de métropole.
- Pour l'ozone, le constat est le même : la moyenne annuelle est peu élevée, même si elle est comparable à celle mesurée dans certaines agglomérations. Par ailleurs, aucun pic d'ozone significatif n'a été relevé depuis la mise en œuvre du réseau de surveillance de l'ORA.
- La concentration en SO₂ est supérieure ou équivalente à des concentrations relevées dans certaines agglomérations de plus de 250000 habitants. En outre cette concentration est en augmentation de 2001 à 2003, à l'inverse de la tendance générale en France, plutôt à la baisse. Cependant, il faut signaler que la valeur de cette concentration, comme dans la majorité des villes de métropole, est très réduite et n'atteint pas de niveaux susceptibles de représenter un danger pour la santé, d'après les critères de l'OMS⁹.

Ces résultats sont toutefois à interpréter avec précaution. En effet, les moyennes relevées à Saint Denis sont calculées à partir des données de mesures d'une seule station urbaine de fond, qui n'est donc pas forcément représentative de la situation sur toute l'agglomération.

c) *Variabilité et caractéristiques globales de la qualité de l'air à la Réunion*

L'île de la Réunion présente donc beaucoup de facteurs spécifiques pouvant influencer la qualité de l'air et la représentativité des indicateurs de pollution mesurés. Les comparaisons avec des mesures ou des études réalisées ailleurs sont rendues délicates par l'ensemble de ces facteurs.

Les taux de polluants mesurés par l'ORA sont globalement peu élevés hormis à proximité de sources ponctuelles majeures (industrielles ou de trafic). Dans l'agglomération de Saint Denis en particulier, une corrélation est observée entre le trafic automobile et les concentrations de PM₁₀ et de NO_x dans l'atmosphère. Les principaux axes routiers de la cité dionysienne constituent indéniablement une source majeure de pollution urbaine. Les plus fortes concentrations de NO₂ et de PM₁₀ sont relevées lors des pointes de trafic automobile, le matin et l'après-midi. La concentration de NO₂ est anti-corrélée à la vitesse du vent. On constate ainsi que lorsque le régime de brise de terre (prédominant la nuit) s'annule, les alizés se remettent à souffler sur les terres, provoquant un effet de dispersion des polluants (baisse des concentrations). Concernant la saisonnalité, les plus fortes concentrations concernant l'ensemble des polluants sont généralement relevées entre juin et septembre (en dehors des sources d'émissions ponctuelles industrielles), c'est-à-dire pendant l'hiver austral lorsque le temps est plus sec.

Une étude²⁵ menée en 2001 sur la zone de Saint-Denis a permis de mettre en évidence une saisonnalité des concentrations en O₃, PM₁₀ et NO₂ ainsi que des variations journalières des concentrations de ces polluants, en lien avec le trafic automobile. Ainsi, en début d'hiver austral, des fortes concentrations de polluants sont relevées, qui sont en partie liées aux conditions atmosphériques de dispersion défavorable. A l'inverse de ce qui se passe en métropole les plus faibles concentrations y compris en ozone sont enregistrées durant l'été (austral). Cette étude démontre également que les niveaux de concentration des différents polluants et leur évolution ne sont pas représentatifs d'un environnement marin « propre ». D'autres travaux^{26,27} ont montré que les variations saisonnières et spatiales des concentrations de gaz sont étroitement liées aux conditions météorologiques et dynamiques. En particulier les concentrations diurnes de NO₂ sont corrélées au trafic et influencent en

partie les concentrations diurnes en O₃, dont les concentrations nocturnes sont essentiellement liées à des processus dynamiques²⁷.

La pollution photochimique par l'ozone est très peu fréquente sur l'île. En effet, les conditions favorables à l'émergence de ce type de pollution (pas de vent, atmosphère sèche, ensoleillement) sont rarement réunies. Les variations de concentrations d'ozone enregistrées par le réseau de surveillance semblent en revanche être corrélées avec la vitesse du vent, ce qui privilégie l'hypothèse d'une arrivée nocturne d'ozone troposphérique (naturel) sur l'île. Des travaux ont en effet démontré la présence importante d'ozone dans les hautes couches de l'atmosphère à la Réunion et son implication probable dans des processus dynamiques d'apport dans la couche limite marine²⁸.

En première approche, dans le cadre d'une vision globale, la problématique de la pollution atmosphérique à la Réunion peut être assimilée essentiellement à des pics de pollution temporels et/ou géographiques (automobile, émissions d'origine industrielles, volcanisme, pollutions «naturelles»...). Cependant, l'air ambiant, en particulier dans l'agglomération de Saint Denis (zone la plus surveillée) n'est pas exempt de pollution de «fond» non négligeable. L'influence du climat semble prépondérante, avec des vents forts qui peuvent disperser les émissions d'origine anthropique (mais également favoriser la présence de polluants « naturels ») et une humidité qui constitue un « puits » pour la majeure partie des polluants. Ces tendances s'appuient sur les constatations encore récentes de l'ORA, dont toutes n'ont pas fait l'objet d'études dédiées aussi faut-il rester réservé quant à leur interprétation.

1.3 Une EIS à la Réunion ?

1.3.1 La démarche d'évaluation d'impact sanitaire de la pollution atmosphérique (EIS-PA)

A) Principes généraux

Compte tenu des travaux épidémiologiques les plus récents^{8,31}, il est désormais indéniable que l'évaluation de l'impact de la pollution atmosphérique sur la santé constitue un enjeu majeur de santé publique. A ce titre, une méthodologie a été élaborée à partir de travaux épidémiologiques internationaux pour mener à bien cette évaluation au niveau local.

Dans le cadre de sa mission d'appui aux services de l'Etat et aux professionnels de santé publique, l'InVS a élaboré un guide méthodologique en 1999⁵, qui a ensuite été actualisé en 2003⁶. Ces guides présentent en détail la démarche et la méthodologie d'évaluation d'impact sanitaire, afin de favoriser sa mise en oeuvre à l'échelle locale. Ces ouvrages viennent compléter un premier document de 1998 qui présentait les principes généraux de cette démarche, ses avantages et ses limites²⁹. On peut en outre signaler que la méthodologie de l'EIS est de plus en plus utilisée à travers le monde (*cf.* 3.3.2B)) et plébiscitée par l'OMS^{30,31}.

L'EIS est une adaptation de la démarche d'évaluation quantitative des risques, qui comporte quatre grandes étapes : l'identification des dangers liés à l'exposition à un agent toxique, la détermination des relations dose/réponse (ou exposition/risque), l'estimation des expositions et la caractérisation du risque. On peut ensuite évaluer l'impact sanitaire de l'exposition estimée à l'échelle d'une population. En effet, si l'EIS repose sur les principes généraux de l'évaluation des risques sanitaires, elle en diffère par le recours à des « relations dose-réponse » qui ne sont pas issues d'extrapolations de doses et/ou d'espèces. En outre l'EIS fait systématiquement appel à une estimation directe des expositions via des mesures réelles de concentrations atmosphériques ambiantes³² et non pas à des scénarii théoriques. Cette exposition est ensuite mise en relation avec des indicateurs sanitaires déterminés, sur la zone d'étude et pendant la période prédéfinie. Ainsi, pour un niveau d'exposition, un indicateur sanitaire et une période donnés l'EIS permet d'estimer le nombre de cas « attribuables » aux effets de la pollution atmosphérique³³ (*cf.* 2. 1).

Les relations exposition/risque de la pollution atmosphérique sont déterminées par des études épidémiologiques. Ces travaux ont permis de démontrer l'association causale entre des indicateurs de pollution et des indicateurs sanitaires tels que la mortalité totale ou la morbidité hospitalière. Signalons cependant que cette causalité fait toujours débat³⁴.

Pour les effets à court terme, on a recours à des études épidémiologiques de séries temporelles. Ce genre d'étude utilise comme unité d'observation statistique non plus l'individu mais la journée. Cela permet, en travaillant sur de vastes populations pendant de longues périodes, d'obtenir une puissance statistique importante. Les effets à long terme de la pollution sont moins documentés car ils nécessitent la mise en place d'études de cohortes longues et onéreuses. Certaines études américaines (Pope et al., 2002) et européennes⁷ ont toutefois démontré récemment des effets sur la mortalité, suite à l'exposition de longue durée à certains indicateurs de pollution². Des relations exposition/risque sont maintenant disponibles pour évaluer l'impact à long terme de la pollution atmosphérique, c'est-à-dire résultant d'une exposition longue à un niveau de pollution donné.

B) Calcul d'impact

Le principe de l'EIS est donc de simuler, pour un indicateur de pollution donné, une variation correspondant à l'effet de la mesure à évaluer (le scénario, par exemple « réduction de 25% du niveau de polluant ») ou à un changement du niveau de pollution (impact considéré). Par rapport à un niveau de base déterminé, cette variation va induire un changement de la valeur du risque, lisible grâce à la relation exposition/risque linéaire dont on connaît le coefficient (le risque relatif ou RR). En multipliant la valeur de ce changement par le nombre d'évènements sanitaires concernés par ce risque dans la population, on obtiendra un nombre de cas attribuables à la variation définie. Le concept épidémiologique central est celui du risque (ou proportion de cas) attribuable.

On peut ainsi, à partir des données du réseau de surveillance de la qualité de l'air, calculer la proportion de l'indicateur sanitaire choisi attribuable au niveau de pollution considéré. Pour les RR à court terme, le calcul du nombre d'évènements sanitaires attribuables à la pollution atmosphérique urbaine se fait pour chaque indicateur d'exposition et chaque journée de la période d'étude considérée⁵ (voir en Annexe 5 pour les détails du calcul). L'OMS recommande ce type de calcul pour une approximation acceptable de la formule théorique exacte.

Pour l'estimation de l'impact à long terme, l'indicateur d'exposition est construit de la même façon mais le calcul de l'impact sanitaire ne se fait pas sur un pas de temps journalier mais en moyenne sur un an, pour être représentatif d'une exposition longue⁶.

C) Intérêts

Dans le cadre de la mise en place des PRQA, l'EIS peut être considérée comme une obligation réglementaire. En effet la LAURE³ indique que ces plans doivent s'appuyer, entre autres, sur une «évaluation des effets de la qualité de l'air sur la santé».

En sus de cet aspect réglementaire, l'EIS est présentée comme un outil opérationnel de gestion du risque, permettant notamment^{1, 2,5,29} :

- « d'expliquer et d'illustrer les acquis scientifiques aux décideurs, public et relais d'opinion ;
- de proposer des objectifs de qualité de l'air fondés sur des critères de santé publique ;
- de prévoir et d'évaluer l'efficacité sanitaire de mesures de prévention (scénarii de réduction de la pollution) ;
- d'étudier la pertinence du réseau de surveillance en termes de santé publique ».

Par ailleurs, la mise en œuvre locale de l'EIS permet d'obtenir des résultats même pour une population peu importante, voire insuffisante pour envisager la mise en place d'une

surveillance épidémiologique. Il s'agit enfin d'une méthode rapide et peu onéreuse puisque l'on exploite et valorise des données existantes^{1, 29}.

Dans le cadre de la mise en oeuvre des PRQA, une trentaine d'EIS ont été déjà réalisées ou sont en cours³⁵. L'InVS affirme³⁶, au vu des études menées et de leur perception, que l'EIS-PA « est utile pour une meilleure prise de conscience par les acteurs régionaux et locaux de l'impact de la pollution atmosphérique dans leurs villes. Selon les personnes interrogées, cette sensibilisation est plus efficace que les résultats des études nationales car l'étude est directement appliquée à la région ».

D) Limites et incertitudes

La démarche d'EIS engendre des incertitudes et intègre certaines limites² qu'il est indispensable de prendre en compte, notamment pour juger de sa faisabilité.

Tout d'abord, l'impact global est nécessairement sous-estimé du fait d'un recours à un nombre limité d'effets sanitaires, en particulier les effets à court terme qui sont beaucoup plus documentés. La mortalité prématurée et la morbidité hospitalière sont quasiment les seuls indicateurs utilisables à ce jour, alors que l'on peut supposer qu'ils ne constituent pas une part majeure des effets imputables à la pollution²⁹.

La variabilité de l'exposition entre également en jeu, car une des hypothèses sous-jacentes à l'utilisation de cette méthode est l'attribution d'un même niveau d'exposition à toutes les personnes séjournant sur la zone d'étude. Il n'y a pas d'évaluation de l'exposition au niveau individuel. L'hypothèse généralement admise -dans les travaux sur l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique- est de considérer la moyenne journalière des valeurs enregistrées par les capteurs du réseau de mesures comme une bonne approximation de la moyenne des expositions individuelles journalières de la population concernée⁵.

La construction et surtout l'extrapolation géographique des relations exposition/risque sont également des sources importantes d'incertitudes. Les effets observés n'étant généralement pas spécifiques du polluant mesuré, les études visant à établir et quantifier le lien entre indicateurs de pollution et indicateurs sanitaires doivent nécessairement prendre en compte un certain nombre de facteurs de confusion (*cf. 3.3.1A*)^{32,33}.

Au vu de ces incertitudes il faut donc bien garder à l'esprit le caractère estimatif des EIS dont les résultats doivent être interprétés comme des ordres de grandeur de l'impact de la pollution atmosphérique sur la santé de la population².

1.3.2 Pertinence de la démarche et attentes locales

Dans le cadre de la mise en place du PRQA à la Réunion, les réflexions préalables ont abouti à des recommandations¹³. Certaines concernent plus particulièrement l'évaluation des effets sur la santé induits par la pollution atmosphérique à la Réunion. Devant les difficultés supposées pour la réalisation d'une EIS selon le protocole de l'InVS, la Cellule Interrégionale d'Epidémiologie Réunion - Mayotte et l'ORA ont décidé conjointement de lancer une étude de faisabilité pour une EIS à la Réunion.

L'applicabilité de la méthode est une question à part entière même si l'évaluation des effets sur la santé de la pollution atmosphérique est par ailleurs une obligation réglementaire³. Aussi les principales attentes locales vis-à-vis de ce travail concernent la pertinence et de la reproductibilité de la méthode d'EIS dans le contexte local. On pourrait penser qu'un environnement comme celui de la Réunion est relativement épargné par la pollution atmosphérique, compte tenu des conditions météorologiques et de l'absence de sources majeures de pollution atmosphérique (hormis sur le secteur du Port). Cependant nous avons vu (*cf. 1.2.2C*) que l'air de la Réunion n'est pas exempt de pollution, en particulier au sein de l'agglomération de Saint Denis. Le chef lieu constitue effectivement la plus grosse agglomération française d'outre-mer et connaît un trafic automobile quotidien très important et en constante augmentation. L'existence d'un réseau de surveillance de la pollution atmosphérique fonctionnel et permanent constitue une opportunité de réalisation d'une EIS dans un contexte non encore exploré et intégrant de nombreuses spécificités.

La mise en œuvre d'une EIS (ou d'une démarche équivalente) est justifiée dans un tel contexte. L'absence d'un seuil d'innocuité connu de la pollution atmosphérique ajoute également à l'intérêt de mener une telle étude dans une région a priori « peu polluée ». Il est aujourd'hui admis par la communauté scientifique que le respect des seuils réglementaires *ad hoc* ne suffit plus à garantir l'absence d'effets sanitaires non négligeables au niveau des populations^{32,33}.

L'évaluation d'impact sanitaire consiste en une « synthèse des connaissances scientifiques, une utilisation optimale des données disponibles et une modélisation permettant de guider les décisions dans une situation d'incertitude »¹. Dans le cadre de la mise en place du PRQA à la Réunion, la réalisation d'une telle étude s'inscrirait tout d'abord dans une démarche scientifique nécessaire à l'échelle locale pour qualifier un impact sanitaire encore méconnu. Les résultats de l'étude, tels qu'ils sont habituellement présentés, pourraient ensuite guider la prise de décision quant à la mise en place éventuelle de mesures de réduction de la pollution ou tout au moins la définition d'objectifs de réduction à moyen et long terme, pour réduire cet impact s'il s'avère important.

Par ailleurs, ce type de démarche est susceptible d'avoir des retombées particulièrement intéressantes pour l'amélioration des connaissances liées à la pollution atmosphérique urbaine dans l'outre-mer français et éventuellement dans des zones a priori « peu polluées » présentant des caractéristiques (climatiques, populationnelles...) similaires.

1.3.3 Objectifs du stage

A) Critères

La Cire et l'ORA ont conjointement proposé un sujet de mémoire concernant la faisabilité de mise en œuvre de la méthode de la méthode d'EIS à la Réunion.

Les objectifs principaux de cette étude sont donc les suivants :

- Définition d'une zone et d'une population d'étude qui correspondent aux critères de la méthodologie en respectant les spécificités locales de l'urbanisation ;
- Analyse des données requises pour une EIS c'est à dire analyse de la disponibilité et de la pertinence des données de qualité de l'air et des données sanitaires ;
- Recherches bibliographiques de relations exposition/risque adaptées au contexte local et analyse de la validité de ces relations ;
- EIS en « première approche » et analyse des incertitudes ;
- Conclusions préliminaires et recommandations quant à l'évaluation des effets sur la santé de la pollution atmosphérique à la Réunion.

B) Structures d'accueil

La Cire est une antenne régionale de l'InVS, capable de relayer son action et de décliner localement son savoir-faire. Dans le cadre de ces missions, la Cire Réunion–Mayotte a souhaité collaborer avec l'ORA sur la thématique de la pollution atmosphérique et de ses effets sur la santé. Par rapport à la réalisation du stage, la participation de la Cire était un recours indispensable d'un point de vue méthodologique et également pour l'obtention de contacts et de diverses données sanitaires nécessaires.

L'ORA est présenté au paragraphe 1.2.2A). Il intervient dans le cadre de ce mémoire en tant que structure d'accueil principale, en mettant à disposition les moyens financiers, techniques, et pratiques. Il est également fournisseur des données de qualité de l'air nécessaires à l'étude et a assuré un soutien méthodologique et un suivi notamment en termes de définition de la zone d'étude.

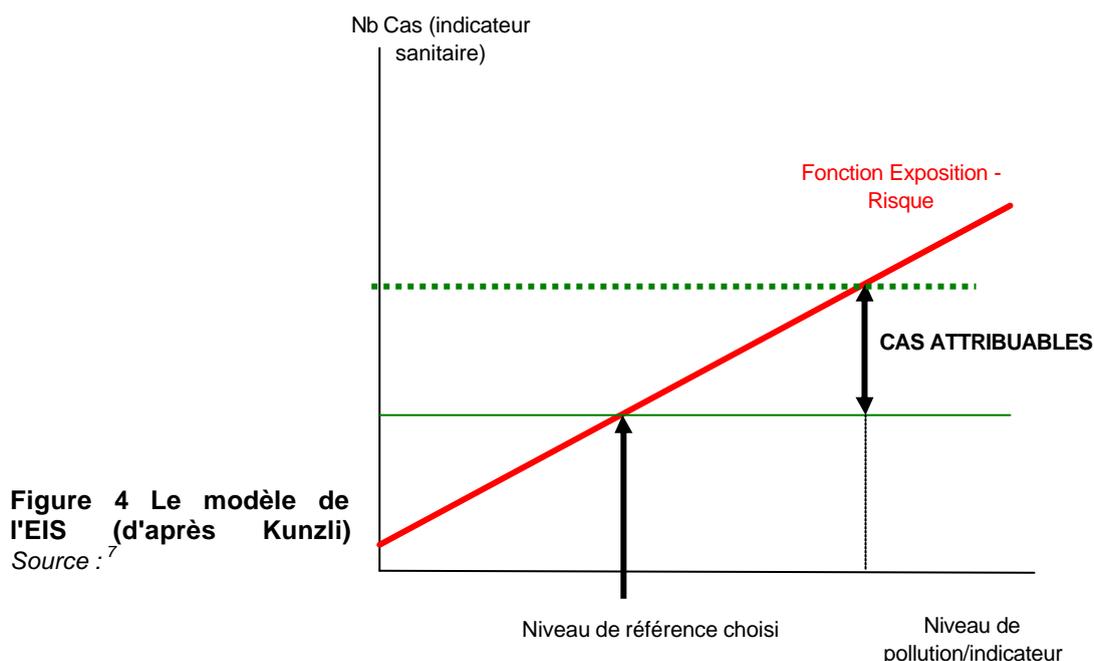
C) Limites de l'étude - restrictions

La question majeure à laquelle doit répondre cette étude est la faisabilité, d'un point de vue scientifique, d'une EIS à la Réunion. A ce titre les réflexions quant à cette faisabilité ne feront appel qu'à des arguments scientifiques, en relation avec les différents partenaires et experts. L'enjeu de ce mémoire n'est pas, par exemple, de juger de l'importance sanitaire du problème de la pollution atmosphérique à la Réunion ou encore de préjuger des suites à donner à cette démarche d'un point de vue politique ou économique. Ce travail doit certes s'insérer dans la prise de décision ultérieure en définissant les orientations possibles, mais il ne peut pas préjuger de cette prise de décision ni des enjeux qui ne concernent pas directement le champ « santé-environnement ».

2 METHODES

2.1 Démarche

2.1.1 Principes généraux



En pratique, la méthodologie d'évaluation consiste dans un premier temps à délimiter une zone d'étude selon certains critères de faisabilité⁵. Il est ensuite nécessaire de rassembler les données relatives à la qualité de l'air et aux indicateurs sanitaires de mortalité et de morbidité hospitalière sur cette zone d'étude. Ces données permettent de déterminer un risque de base (incidence) local qui est mis en relation avec un niveau de pollution de référence, pour la population de la zone (niveau et fréquence d'exposition). A partir de relations exposition/risque (modèles) issues de la littérature et de ce niveau de pollution, on peut pondérer le risque de base par un risque relatif (facteur multiplicatif lié à la pollution atmosphérique)²

La méthodologie pratique de l'EIS est présentée plus en détail dans les guides méthodologiques de l'InVS^{5,6}. De plus, le logiciel EIS-PA 2.0 est mis à disposition sur le site

de l'InVS et son manuel d'utilisation est adjoint à l'actualisation du guide méthodologique de 2003⁶. Il s'agit d'un outil d'aide à la réalisation d'une évaluation d'impact sanitaire. Il permet de réaliser de manière automatisée et standardisée une EIS pour différents indicateurs de pollution atmosphérique et différents indicateurs sanitaires, et selon différents scénarii pré-établis.

Afin d'étudier la faisabilité au niveau local d'une évaluation d'impact sanitaire, il ne suffit pas de s'assurer de l'existence des données requises, car celles-ci doivent être accessibles et valides, récupérables dans un format qui puisse être mis en adéquation avec les exigences de la méthodologie. Aussi, la démarche retenue dans un premier temps a consisté en une mise en situation de réalisation d'une EIS, en suivant pas à pas les guides tout en veillant à respecter au maximum les conditions et à rassembler les éléments facteurs d'incertitude dans le contexte local. L'étape suivante a ensuite été la collecte, la mise en forme et l'analyse des données environnementales et sanitaires. Il a alors été possible d'opter pour une période d'étude rassemblant de manière satisfaisante et la plus exhaustive possible les indicateurs requis.

2.1.2 Données de qualité de l'air

Les données de qualité de l'air ont été extraites, sous forme de mesures horaires, de la base de données de l'ORA via le logiciel Xair, puis traitées grâce à la feuille de calcul Epi-Expo pour obtenir des moyennes journalières adéquates et enfin mises en forme, notamment graphiquement, sous Excel. Toutes les données disponibles depuis 1999 sur la zone d'étude ont été examinées afin de choisir une période correspondant au maximum de disponibilité du réseau de mesures.

2.1.3 Données sanitaires

A) Mortalité

Les données sanitaires de mortalité disponibles à la DRASS sont agrégées sur plusieurs années donc inexploitable pour une EIS. La demande d'extraction des données de mortalité a d'abord été envoyée à l'INSERM puis à l'InVS qui a pu fournir des chiffres jusqu'à l'année 2001.

B) Admissions hospitalières

Dans ce type d'étude, les données nécessaires à l'élaboration d'indicateurs sanitaires de morbidité doivent être recueillies de préférence directement auprès des services hospitaliers. Il est donc nécessaire de sélectionner dans un premier temps les établissements gérant les services de courts séjours pour affections respiratoires, cardiaques ou cardio-vasculaires, ce qui a été fait à partir de l'expertise de la DRASS et des données disponibles auprès de l'Agence Régionale d'Hospitalisation (ARH) et du Fichier National des Etablissements Sanitaires et Sociaux (FINESS).

Les données d'activité hospitalière sont issues du PMSI, le système d'information des établissements sanitaires, qui est géré par les Départements d'Information Médicale (DIM). Idéalement, il faudrait disposer du nombre d'admissions pour causes respiratoires, cardiaques et cardio-vasculaires. Cet indicateur n'étant pas disponible, il peut être approché en comptabilisant les Diagnostics Principaux (DP) des premiers Résumés d'Unité Médicale (RUM) encodés sous cette forme dans le PMSI. Afin d'accéder à ces données une démarche officielle a été mise en place auprès des administrations hospitalières, par l'intermédiaire de la Cire et du service statistiques de la DRASS, précisant la nature des données souhaitées et les modalités d'extraction telles qu'elles sont recommandées par la méthodologie d'EIS (voir en Annexe 6).

2.1.4 Eléments bibliographiques

En parallèle, des recherches bibliographiques ont été menées pour apporter des éléments de réflexion, quant à l'adaptabilité de la méthodologie EIS au contexte réunionnais, puis plus précisément pour prendre connaissance de relations exposition/risque mises en œuvre à travers le monde dans des contextes similaires.

2.1.5 Calculs et discussions

Ensuite, des calculs « en première approche » de l'impact sanitaire de la pollution ont pu être menés (en utilisant le logiciel EIS-PA 2.0), en comparant les influences des différents paramètres et en particulier les possibilités d'utilisation de différentes relations exposition/risque (analyse de sensibilité simple); puis en analysant de façon qualitative les incertitudes.

Enfin, la discussion sur la faisabilité d'une EIS à la Réunion et la validité des résultats a permis de formuler des propositions et des recommandations quant à l'évaluation locale des effets sur la santé de la pollution de l'air.

2.2 Identification du danger

Cette étape consiste à déterminer les dangers liés aux polluants atmosphériques en s'appuyant sur les résultats de l'observation médicale, des études épidémiologiques et toxicologiques. Il s'agit également de sélectionner les indicateurs sanitaires pertinents dans le cadre d'une étude locale. Les effets sur la santé des principaux indicateurs de pollution atmosphérique étant connus et bien documentés, nous ferons ici uniquement un rappel de quelques propriétés, à partir de documents de synthèse^{2,37}. Les indicateurs de pollution ainsi que les indicateurs utilisés dans le cadre de cette étude figurent parmi ceux préconisés par l'InVS, classiquement retenus dans les évaluations d'impact sanitaire réalisées.

2.2.1 Rappels sur les principaux polluants

La méthodologie de l'EIS nécessite de recourir à des mesures de fond en routine sur des périodes importantes, c'est-à-dire nécessairement relatives aux polluants pris en compte par les réseaux de surveillance de la qualité de l'air, visés par la réglementation.

Le dioxyde de soufre (SO_2), émis par la combustion des fiouls, gazoles et charbons et lié essentiellement au chauffage et aux activités industrielles. La part des transports (diesel) baisse avec la suppression progressive du soufre dans les carburants. Le SO_2 est un gaz irritant, associé à une altération de la fonction pulmonaire chez les enfants et à une exacerbation des symptômes respiratoires aigus chez l'adulte (toux, gêne respiratoire). Il agit en synergie avec d'autres substances notamment les particules.

Les oxydes d'azote (NO_x) sont émis par combustion à haute température, notamment par les moteurs des véhicules ou par des sources fixes (centrales thermiques). Dans des conditions normales, le NO est rapidement transformé en NO_2 sous l'action d'oxydants tels que l'ozone. Le NO_2 un gaz brun rougeâtre dont l'odeur âcre est déplaisante. Irritant, il pénètre profondément les voies respiratoires. Il est susceptible de provoquer des crises chez les asthmatiques et un accroissement de la sensibilité des bronches aux infections chez l'enfant.

L'ozone (O_3) est un constituant normal de l'air mais il est aussi formé en tant que polluant secondaire dans l'atmosphère à partir des composés organiques volatils et des oxydes d'azote, sous l'effet du rayonnement solaire, selon une série complexe de réactions. Sa concentration a tendance à être moins importante dans les centres-villes que dans les banlieues, essentiellement du fait de sa destruction par l'oxyde nitrique issu du trafic. L'ozone de la basse atmosphère provoque des irritations oculaires, de la toux et une altération de la fonction pulmonaire, surtout chez les enfants et les sujets asthmatiques. Ses effets sont majorés par l'exercice physique.

Les particules fines en suspension d'origine anthropique sont classiquement émises par les combustions incomplètes (combustion industrielle, chauffage, incinération...) et par les véhicules automobiles, en particulier les diesels. Les particules atmosphériques ne constituent pas un polluant unique, mais représentent un mélange de particules de taille et de composition différentes provenant de sources qui peuvent être naturelles ou anthropiques³⁸. On distingue les PM10 (diamètre < 10µm) qui peuvent pénétrer le système respiratoire inférieur, des PM2,5 (diamètre < 2,5 µm) « respirables » qui peuvent atteindre la zone d'échange gazeux des poumons, et les ultrafines (< 100nm) qui atteignent les poumons. Ces particules peuvent véhiculer à leur surface d'autres polluants potentiellement toxiques. Seules les PM10 sont à l'heure actuelle systématiquement mesurées par les réseaux de surveillance.

A la lumière des nombreuses études épidémiologiques disponibles et compte tenu de la qualité de l'air a priori à la Réunion (cf. 1.2.2) les indicateurs classiquement utilisés dans les évaluations d'impact ont été retenus pour construire les indicateurs d'exposition (cf. 0).

2.2.2 Effets sanitaires observables

Il est à rappeler que les effets sanitaires observés sont reliés le plus souvent à des indicateurs de pollution et non aux polluants eux-mêmes. Les effets observés ne sont donc pas spécifiques du polluant considéré mais du mélange atmosphérique²⁹.

En épidémiologie on distingue généralement les effets à court terme des effets à long terme, suivant la durée d'exposition. La plupart des études épidémiologiques publiées ont analysé la relation entre des expositions de courte durée à la pollution atmosphérique et des indicateurs de santé de mortalité ou de morbidité. Les risques liés aux expositions longues ont également fait l'objet d'estimations, encore limitées à certaines populations et certaines zones.

Les données sanitaires collectées dans le cadre de l'étude correspondent donc aux indicateurs de mortalité totale (hors causes accidentelles), cardio-vasculaire et respiratoire et de morbidité hospitalière respiratoire, cardiaque et cardio-vasculaire.

2.3 Définition de la zone d'étude

2.3.1 Présentation

D'après les données disponibles à l'ORA, il est apparu que la zone concernée par une démarche d'EIS à la Réunion ne pouvait être dans un premier temps que l'agglomération de Saint Denis. En effet, c'est à ce jour la seule zone urbaine réunionnaise dotée de stations de mesure de la pollution urbaine de fond. Par ailleurs, Saint Denis constitue la seule agglomération de plus de 100 000 habitants sur l'île et est *a priori* représentative de la situation de pollution atmosphérique urbaine de fond à la Réunion. Il est à souligner qu'il existe plusieurs stations de surveillance sur la commune du Port mais cette configuration (stations de proximité industrielle) ne convenait pas à la mise en œuvre d'une démarche de type EIS.

D'après la méthodologie de l'InVS, une EIS n'est envisageable que dans les zones urbaines où l'exposition de la population peut être évaluée de façon satisfaisante et considérée comme homogène. Il est donc indispensable de définir une zone bénéficiant d'une surveillance (de fond et en continu) de la qualité de l'air, dénuée de sources ponctuelles majeures de pollution atmosphérique et où la population séjourne la majeure partie de son temps. En outre, cette zone doit normalement correspondre à la zone géographique minimale d'extraction des données sanitaires.

2.3.2 Délimitation de la zone

A) Critères géographiques

La délimitation de la zone d'étude s'est faite en utilisant le logiciel MapInfo et les outils fournis par l'Institut Géographique National (IGN) : le fond de carte IGN de la Réunion et la base de données orthophotographique du référentiel à grande échelleⁱ. Les données orthophotographiques sont obtenues à partir de photos aériennes corrigées notamment par une modélisation du relief.

La première étape a donc consisté à sélectionner les zones de continuité urbaine avec le centre ville en écartant les zones périphériques accusant un relief marqué (les « Hauts ») ou présentant une « coupure verte » avec le centre. Ce travail a permis d'avoir une première idée de la zone d'étude et de ses caractéristiques (population, superficie...).

La zone sélectionnée est entièrement contenue dans la commune de Saint Denis mais elle ne couvre pas la commune dans sa totalité. En effet la commune de Saint Denis est relativement étendue et se compose de zones très hétérogènes d'un point de vue climatique et populationnel. Le découpage administratif de la Réunion s'étant effectué « du battant des lames au sommet des montagnes », il est difficile de délimiter des zones où l'on puisse considérer à la fois la qualité de l'air et la densité de population comme homogènes. Dans la même commune coexistent ainsi des zones urbaines denses littorales et des zones rurales en altitude. A défaut, la sélection d'une zone satisfaisant ces critères de base pose le problème de la compatibilité avec l'extraction des données de mortalité et d'admissions hospitalières disponibles uniquement à l'échelle de la commune (cf. 4.2.1B)a)). Il s'agit d'un point crucial de cette étude puisque aucune commune de la Réunion ne répond a priori à cette exigence d'une homogénéité de la qualité de l'air sur l'intégralité de son territoire.

B) Population et déplacements

Afin d'estimer la population exposée sur la zone, les données de l'INSEEⁱⁱ ont été utilisées. En recoupant le périmètre géographique de la zone avec le découpage et les données (population, superficie) des Ilots Regroupés pour l'Information Statistique (IRIS)³⁹, il est possible de déterminer avec précision la population concernée par l'étude (voir Annexe 7: zone d'étude). L'IRIS est un «petit quartier» d'environ 2000 habitants, qui se définit comme un ensemble d'îlots (pâtés de maisons) contigus. Il est important d'être le plus précis possible dans la détermination de ce paramètre afin de ne pas multiplier les incertitudes existantes, du fait d'une zone d'étude déjà restreinte.

La zone délimitée englobe ainsi 74,4 % de la population totale de Saint Denis au dernier recensement de 1999, soit 97 900 habitants. On notera que 74% de la population est concentrée sur moins de 16% du territoire de la commune, ce qui confirme le choix nécessaire d'une zone infra communale : il existe des hétérogénéités de population très importantes. La densité de population sur la zone d'étude est de 4399 hab./km² contre 930 hab./km² en moyenne sur la commune.

Le nombre d'habitants et la densité de population étant satisfaisants en première approche, il faut ensuite s'assurer que la majeure partie de la population réside sur la zone d'études. D'après le dernier recensement de l'INSEEⁱⁱ, 87% des habitants de la commune de Saint Denis résident et travaillent dans la même commune. Une étude⁴⁰ (basée sur un sondage et des données statistiques) de 2002 vient corroborer cet aspect en montrant que Saint Denis est un pôle d'attractivité prépondérant qui constitue la destination de plus d'un tiers des déplacements pour motifs d'achats et de travail, mais que les migrations pendulaires ne concernent pas plus de 30 % des déplacements.

ⁱ Voir sur Internet : <http://www.ign.fr/telechargement/MPro/plaquettes/bdortho.pdf>

ⁱⁱ Voir sur Internet : http://www.insee.fr/fr/insee_regions/reunion/home/home_page.asp

Dans le cadre d'une étude sur la pollution atmosphérique d'autres éléments intéressants sont mis en évidence par ce rapport de l'observatoire des transports et déplacements. Ainsi :

- à l'échelle de l'île, 65 % des déplacements sont effectués à l'intérieur des communes ;
- L'automobile est de loin le principal mode de déplacement à la Réunion. 90 % des déplacements mécanisés sont effectués en automobile. Le recours total aux transports en commun ne représente que 5 % des déplacements dans l'île ;
- L'étude des évolutions journalières de trafic montre d'importantes pointes de circulation en direction de Saint-Denis, chef lieu du département.

C) Evaluation de la qualité de l'air

L'évaluation de la qualité de l'air sur la zone géographique ainsi définie se fait à partir du réseau de surveillance de l'ORA. Le tableau 2 présente les trois stations de mesure présentes sur la zone d'étude.

Tableau 2 Stations fixes de mesures de la qualité de l'air sur la zone d'étude Source : ORA

Nom de la station	Emplacement	Périodes de mesures	Type de station / mesures	Polluants - Technique de mesure
Lislet-Geoffroy	Enceinte du lycée Lislet Geoffroy - Saint-Denis	depuis le 20/01/2000	Urbaine de fond (1/4 horaires)	SO ₂ – Fluorescence UV NO ₂ - Chimiluminescence PM10 - µbalance par var de fréq. O ₃ - photométrie UV CO – Corrélation IR
Montgaillard	Collège Montgaillard Saint Denis	depuis le 20/01/2000	Périurbaine (1/4 horaires)	O ₃
Joinville	132, Rue Jules Auber Saint Denis	depuis Avril 2005	Urbaine de fond (1/4 horaires)	SO ₂ – Fluorescence UV NO ₂ - Chimiluminescence PM10 - µbalance par var de fréq. O ₃ - photométrie UV CO – Corrélation IR

Trois stations sont donc disponibles pour l'étude de la qualité de l'air sur la zone d'étude. Par ailleurs, onze campagnes de mesures ont été réalisées par le laboratoire mobile de l'ORA sur la zone d'étude ou dans son environnement proche, sur neuf sites différents. Il n'est pas recommandé d'utiliser ces mesures pour estimer l'exposition des populations étant donné qu'elles sont effectuées sur des courtes durées. En revanche elles peuvent permettre d'affiner la connaissance de la qualité de l'air au sein de la zone d'étude. En effet, en comparant ces mesures à celles relevées en même temps par les stations fixes, on peut avoir une approche sur l'homogénéité de la qualité de l'air sur le secteur. Elle peut être évaluée selon deux critères³³ à partir des données de mesures des campagnes, pour chaque polluant :

- le différentiel entre la valeur moyenne journalière mesurée par une campagne et par la station de référence doit être inférieur à 20 µg/m³ ;
- le coefficient de corrélation entre une campagne et la station de référence (pour la même période) doit être supérieur ou égal à 0,6.

Les campagnes de mesures ainsi que les résultats de ces comparaisons sont présentés en *Annexe 8*.

On s'aperçoit que les campagnes réalisées sont globalement bien corrélées avec la station de référence de Lislet Geoffroy. Les mesures réalisées en proximité du trafic (à la DRIRE notamment) présentent des écarts importants (>20 µg/m³) et caractéristiques: la

concentration est plus élevée pour tous les polluants hormis l'ozone pour lequel elle est moins élevée.

Pour le SO₂ la corrélation est mauvaise : cela est dû aux taux très faibles généralement mesurés par la station ou les campagnes qui induisent des variations aléatoires, de l'ordre de l'erreur de mesure. A noter que pour la campagne réalisée en proximité des Brasseries Bourbon (« Notre Dame de la Délivrance ») les taux de SO₂ mesurés sont plus importants. La corrélation avec la station fixe est pourtant très bonne, mais elle est ici biaisée puisqu'une éruption a eu lieu pendant la campagne et a provoqué des « pics » de SO₂ sur toute la zone (voir Annexe 9, juin 2001).

Les autres corrélations sont bonnes hormis pour quelques campagnes concernant les particules ou le NO₂ cela peut être dû à l'emplacement de la campagne favorisant plutôt des concentrations faibles (« IUFM » par exemple, en bordure de zone) ou fortes (« Notre Dame de la Délivrance », en proximité de site industriel). A noter que les deux emplacements considérés par l'ORA comme les plus représentatifs de la qualité de l'air globale à Saint Denis (« Collège Saint Michel » et « Rue Juliette Dodu – Maréchal Leclerc ») sont bien corrélés avec la station fixe de référence.

D) Sources de pollution

La zone d'étude déterminée ne comporte pas de source de pollution industrielle majeure. On peut tout de même signaler la présence des Brasseries Bourbon situées à l'Ouest de la zone d'étude. La campagne de mesure réalisée en proximité de cet établissement n'a cependant pas montré de différences très importantes en termes de concentration de polluants avec le reste de la zone (voir paragraphe précédent). On peut cependant craindre des pics de pollution au SO₂ et aux PM10. Cependant, les vents dominants (les alizés) soufflant généralement de l'Est, on peut estimer que ces pics n'affectent que très peu la zone d'étude. Il faut également prendre en compte la présence de l'Aéroport International Roland Garros. Ce dernier n'est pas situé dans la zone d'étude mais à l'Est de celle-ci. Toutefois, aucune campagne de mesures n'a été réalisée pour permettre de préjuger de son influence sur la qualité de l'air. Une campagne a tout de même été réalisée en bordure de la zone, au lieu dit « la Jamaïque ». Elle n'a pas montré de différence significative avec le reste du secteur.

La principale source de pollution sur la zone urbaine de Saint Denis est constituée par le trafic automobile. Les données obtenues auprès de la Direction départementale de l'équipement identifient deux axes majeurs, l'un au Nord de la zone, la route nationale à quatre voies bordant le littoral avec un Trafic Moyen Journalier Annuel supérieur à 50 000 véhicules par jour (plus de 60 000 par endroits en 2004) et l'autre plus au sud (le « boulevard sud ») avec, par endroits, un trafic compris entre 30 000 et 40 000 véhicules par jour. L'influence de ces axes routiers reste toutefois limitée, étant donné qu'ils ne concernent pas un secteur restreint de la zone d'étude. Aucune étude de proximité trafic ne permet cependant de définir leur impact local.

2.3.3 Synthèse

La zone sélectionnée correspond aux exigences de la méthodologie de l'EIS, et en tant qu'expert de référence, l'ORA considère que la qualité de l'air sur cette zone est globalement homogène. Nous avons vu que les critères de corrélation sont bien respectés entre les campagnes réalisées et la station fixe de référence de Lislet Geoffroy et que les différences constatées s'expliquent facilement.

La figure 2 (page suivante) présente la zone d'étude avec l'emplacement des stations fixes de mesures de la qualité de l'air et des campagnes réalisées par le laboratoire mobile sur la zone (Voir en annexe 8 le tableau des campagnes). D'autres cartes en Annexe 7 présentent la détermination de la population de la zone, et les axes de trafic majeurs.



Figure 5 Zone d'étude pour une EIS à Saint Denis Sources : IGN, INSEE, ORA

3 FAISABILITE D'UNE EIS A SAINT DENIS: RESULTATS

Avertissement : Les résultats présentés dans cette partie ne concernent pas directement l'évaluation d'impact sanitaire à proprement parler mais bien la faisabilité de cette évaluation, ce qui explique que des points méthodologiques ou préparatoires puissent y être présentés et discutés.

3.1 Connaissance de l'exposition

3.1.1 Période d'étude

Les données de qualité de l'air recueillies pour les années 2001 à 2004 ont été analysées. En construisant le graphe des périodes de disponibilités journalières, il est apparu que la période correspondant aux années 2001 – 2002 (de mai à avril) est le meilleur compromis entre, d'une part, la disponibilité des données de mesure validées par l'ORA et des données sanitaires et d'autre part les conditions météorologiques (*cf. 4.2.1A)a*). En effet, pour cette période, relativement peu de données sont manquantes (*Voir en Annexe 9*).

Les données météorologiques pour la période de mai 2001 à avril 2002 (soit deux saisons tropicales) ont été comparées aux 30 années, allant de 1975 à 2004, pour la station météorologique de référence située à Gillot (Aéroport International Roland Garros), soit en dehors de la zone d'étude. Pour plus de précision, les données météo disponibles dans le centre de Saint Denis depuis 1999 ont également été examinées (*voir tableau 2*).

Tableau 3: Comparaison des paramètres météorologiques de l'année tropique 2001-2002 avec ceux de 1975-2004 (Source : Météo France La Réunion)

Paramètres météo		Durée totale de l'insolation (en heures)			Nb de Jours de vent fort (>16m/s)			Nb Moyen de jours avec pluie (≥1 mm)			Températures moyennes (°C)		
		Année	Hiver 01/05 30/10	Eté 01/11 30/04	Année	Hiver 01/05 30/10	Eté 01/11 30/04	Année	Hiver 01/05 30/10	Eté 01/11 30/04	Année	Hiver 01/05 30/10	Eté 01/11 30/04
Gillot	01/02	2664.9	1333.8	1331.2	84.0	60.0	24.0	93	36	57	24.0	22.3	25.8
	75/04	2609.8	1313.2	1296.6	72.5	43.5	29.0	115.9	46.9	69.0	24.1	22.4	25.8
Saint Denis	01-02	indisponible			83.0	61.0	22.0	97.0	34.0	63.0	24.6	22.7	26.5
	99-04	indisponible			67.6	42.4	25.2	88.8	30.8	58.0	24.4	22.7	26.2

Il apparaît que la période sélectionnée est dans la moyenne pour la plupart des paramètres, hormis le vent, pour lequel on relève plus de jours de vent fort que la moyenne. On notera cependant que cette différence est moins marquée que pour la période 2002-2003 ou 2003-2004 (*voir annexe 10*), et que le régime des vents à la Réunion est marqué par une forte disparité spatiale et temporelle, fonction de nombreux paramètres (*cf. 1.2.1A*). La période sélectionnée est donc satisfaisante d'un point de vue météorologique. Il faut cependant signaler que la période d'étude retenue englobe l'occurrence du cyclone DINA, particulièrement intense, le 22 janvier 2002. Cependant, hormis quelques jours d'indisponibilité, ce phénomène ne semble pas avoir affecté le réseau de surveillance de la qualité de l'air et il ne constitue, à l'échelle d'une année, qu'un épisode très ponctuel affectant peu les valeurs moyennes. Il faut également souligner que les dépressions tropicales sont des événements cycliques relativement fréquents à la Réunion et qu'à ce titre, il ne serait pas cohérent de sélectionner les années ne présentant pas ce type d'épisode. (*Pour plus de précisions sur les paramètres météorologiques de la zone d'étude, voir l'annexe 10*)

3.1.2 Stations de surveillances de la qualité de l'air



Figure 6 Station de surveillance de la qualité de l'air "Lislet Geoffroy" Source: ORA

Du fait du peu de nombres de stations disponibles (3) sur la zone d'étude, il n'y a pas lieu d'opérer une sélection des stations. Les données fournies par deux stations seulement ont pu être utilisées pour cette étude, la mise en œuvre de la troisième (« Joinville ») étant trop récente pour fournir des données validées sur une période suffisamment longue et surtout sur la période d'étude. La station « Joinville » a donc été écartée bien qu'elle soit située sur un emplacement particulièrement intéressant en centre-ville. La station « Montgaillard » pour la mesure de l'ozone est bien corrélée avec la station Lislet-Geoffroy : le coefficient de corrélation vaut 0,91 pour la période d'étude et les moyennes annuelles ne diffèrent pas de plus de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Les indicateurs de pollution à l'ozone reflètent les mêmes niveaux de pollution, même si la concentration moyenne en O_3 est légèrement plus élevée sur la station de Montgaillard. Il s'agit en effet d'une station périurbaine, plus éloignée des axes de trafic qui constituent un puits pour l' O_3 via le NO produit par la circulation. La station « Lislet-Geoffroy » - voir figure est donc la station de référence pour notre étude, représentative de la qualité de l'air sur l'ensemble de la zone d'étude

Tableau 4: Distribution des concentrations journalières moyenne en ozone (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) en fonction du site de mesure, 2001-2002 Source: ORA

Site de mesure	Lislet Geoffroy	Montgaillard
Type de Station	Urbaine	Périurbaine
Moyenne	31.1	46.2
Médiane	31.4	43.5
Mesures manquantes	19	36
Centile 5	15.4	22.1
Centile 25	22.8	34.8
Centile 75	38.9	58.8
Centile 90	45.2	65.8
Minimum	8.9	10.1
Maximum	63.9	82.8
% Valeurs manquantes	5.2%	9.8%
Périodes d'invalidité > 7 j	0	1

3.1.3 Indicateurs d'exposition

A) Présentation

L'indicateur préconisé pour l'EIS pour estimer l'exposition d'une population est la valeur moyenne journalière des données collectées dans la zone où vit cette population⁴¹. Pour notre étude, les données d'une seule station sont disponibles, excepté pour l'ozone. L'indicateur d'exposition est donc constitué des séries des moyennes arithmétiques journalières de concentrations pour chaque polluant. L'ozone fait cependant exception puisque l'indicateur peut correspondre :

- soit à la moyenne sur les 8 heures d'ensoleillement maximal (soit dans notre cas, de 7h à 15h d'après les données de Météo France à la Réunion) ;
- soit au maximum des moyennes glissantes sur 8 h pour chaque jour

L'indicateur d'ozone est toujours construit à partir de la moyenne des concentrations mesurées par les deux stations (Montgaillard et Lislet-Geoffroy).

Les valeurs moyennes journalières ont été calculées en appliquant la règle des 75 % (au moins 75% de valeurs horaires disponibles pour élaborer une valeur journalière), à partir de la feuille de calcul Epi Expo et des valeurs moyenne horaires collectés par le serveur Xair de l'ORA. Le remplacement des valeurs manquantes tel qu'il est possible par Epi Expo^{32,33} n'est pas ici pertinent. Premièrement, s'agissant d'une étude de faisabilité il est préférable d'utiliser les données disponibles et validées par le réseau de surveillance pour ainsi avoir une idée précise de leur validité. Deuxièmement, puisqu'on utilise une seule station de fond le remplacement par la méthode des moyennes saisonnières n'est pas possible et le remplacement par méthode de régression linéaire n'est pas adapté (périodes inférieures à 15 jours). L'indicateur d'exposition à l'ozone a toutefois été calculé à partir des séries de données de deux stations. Dans ce cas le remplacement des valeurs manquantes a pu se faire par la méthode des moyennes saisonnières.

B) Résultats

Tableau 5 Distribution des indicateurs de pollution hors ozone, Saint Denis, 2001-2002

	SO ₂			PM10			NO ₂		
	Année	Hiver	Été	Année	Hiver	Été	Année	Hiver	Été
Nombre	339	176	163	289	181	108	328	170	158
Centile 5	0.1	0.6	0.0	10.5	10.6	10.6	1.3	0.9	2.0
Centile 25	1.2	2.1	0.7	13.4	13.3	13.5	3.4	3.4	3.5
Médiane	2.4	3.3	1.5	16.3	16.3	15.6	6.2	7.1	5.7
Centile 75	3.9	4.7	2.8	18.8	19.0	18.5	9.1	11.0	7.6
Centile 90	5.6	7.4	4.2	21.6	22.7	20.9	12.7	15.1	9.7
Minimum	0.0	0.0	0.0	8.0	8.0	9.3	0.4	0.4	9.8
Maximum	36.7	36.7	7.9	33.2	31.7	33.2	24.5	24.5	14.3
Moyenne journalière	3.1	4.2	1.9	16.5	16.8	16.2	6.9	7.8	5.9
Ecart-Type	3.59	4.47	1.62	4.38	4.58	4.02	4.28	5.08	2.93
Valeurs manquantes	7.1%	4.3%	9.9%	20.8%	1.6%	40.3%	10.1%	7.6%	12.7%

Tableau 6 Indicateurs de pollution à l'ozone, 2001-2002

O ₃ Moyenne 8h-16h	O ₃ max moyennes glissantes
-------------------------------	--

	Année	Hiver	Eté	Année	Hiver	Eté
Nombre	355	184	171	358	184	174
Centile 5	18.1	34.1	15.7	18.5	36.0	17.1
Centile 25	28.2	42.1	22.4	29.6	45.7	24.4
Médiane	38.2	47.5	28.2	41.0	51.6	29.6
Centile 75	48.0	53.3	33.3	52.0	56.9	35.9
Centile 90	54.5	56.0	37.8	57.8	60.5	41.0
Minimum	9.8	24.8	9.8	11.1	26.3	11.1
Maximum	73.3	73.3	52.1	79.6	79.6	54.6
Moyenne journalière	38.2	47.4	28.2	40.8	50.9	30.2
Ecart-Type	12.47	8.09	7.83	13.48	8.63	8.54
Valeurs manquantes	2.7%	0.0%	5.5%	1.9%	0.0%	3.9%

L'indicateur initialement retenu pour la pollution par l'ozone était la moyenne arithmétique des 8 h quotidiennes d'ensoleillement maximal. Néanmoins, compte tenu des faibles niveaux de pollution mis en jeu et surtout du fait que la concentration en ozone mesurée sur le secteur n'est vraisemblablement pas corrélée à l'ensoleillement (*cf. 1.2.2C*), il a semblé plus pertinent de construire un estimateur d'exposition fondé sur des maxima quotidiens, hors période d'ensoleillement. Cette option permet de travailler sur des niveaux d'exposition plus importants et ainsi d'envisager la situation dans les cas les plus défavorables.

Le taux de valeurs manquantes est assez réduit, la période d'étude ayant été choisie d'après ce critère. Néanmoins, ce taux atteint tout de même plus de 20% sur l'année et 40% sur une saison, en ce qui concerne les PM10. Afin de ne pas utiliser des données non représentatives de phénomènes habituels sur la zone d'étude, les données de qualité de l'air ont toutefois été comparées à celles des années précédentes et suivantes. Les niveaux de polluants annuels sont peu différents de leurs niveaux lors des autres périodes d'études envisagées, en particulier en ce qui concerne les PM10.

C) Commentaires

Afin de qualifier l'intensité de la pollution sur la zone d'étude, on peut notamment se référer aux préconisations de l'OMS^{9,42} (*Voir Annexe 1*).

Pour le NO₂ comme pour le SO₂, on constate qu'aucun dépassement des valeurs limites, objectifs de qualité ou seuils n'a eu lieu et les moyennes annuelles peuvent être considérées comme très faibles, voire négligeables au regard de ces normes. Même les maxima restent très en deçà des valeurs recommandées aussi bien par l'OMS que par les directives européennes

Les moyennes annuelles de NO₂ se situent à des niveaux habituellement considérés en Europe comme « le bruit de fond » relevé dans les grandes agglomérations. Les maxima atteignent toutefois des valeurs plus importantes mais la distribution (et notamment le 90^e percentile) montre que ces valeurs ne sont pas vraiment représentatives.

Par comparaison avec les EIS réalisées dans les agglomérations en France métropolitaine, le niveau de SO₂ mis en évidence sur la zone d'étude correspond aux niveaux négligeables qui conduisent généralement à sa non prise en compte dans les EIS.

La concentration d'ozone est globalement plus faible qu'en métropole mais les niveaux relevés peuvent correspondre à ceux de certaines agglomérations. Aucun dépassement des valeurs de référence n'est relevé pour cet indicateur et aucun phénomène de « pic » significatif n'a été mesuré, le maximum se situant à 79,6 µg/m³ (maximum quotidien des moyennes sur 8h) alors que le seuil de protection le plus bas (critère national) se situe à 110µg/m³. Les valeurs moyennes et plus de 90% des valeurs journalières sont comprises

dans les valeurs considérées comme représentatives d'une pollution de fond (inférieures à 70 µg/m³) par l'OMS.

La concentration en PM10 est un peu plus proche des niveaux moyens mesurés en métropole mais aucun dépassement des valeurs de référence n'est constaté. Cependant, dans le cas des particules fines, l'OMS affirme que « les connaissances actuelles ne permettent pas de déterminer une concentration en dessous de laquelle aucun effet n'est observé » et, à ce titre, ne fournit pas de valeur guide. Pour ces niveaux bas d'exposition à court terme (entre 0 et 100 µg/m³) la relation exposition/risque peut être considérée comme linéaire⁹.

Au vu des valeurs de référence et des recommandations, notamment de l'OMS, pour la qualité de l'air, il semble que l'on puisse considérer la pollution sur la zone d'étude comme négligeable en ce qui concerne le SO₂ et très limitée en ce qui concerne le NO₂. Les immissions concernant l'ozone et les particules semblent plus significatives quoique faibles également.

La portée de ces hypothèses reste toutefois limitée, compte tenu des incertitudes existant à plusieurs niveaux, en particulier du fait de la limite due au faible nombre de stations de mesure.

3.2 Connaissance du risque de base

Remarque préliminaire : Les valeurs indiquées dans les tableaux qui suivent concernent les données de mortalité et de morbidité pour l'ensemble de la commune de Saint Denis. Afin de ne pas induire une surestimation de l'impact de la pollution atmosphérique, ces valeurs seront donc ramenées au prorata de la population effectivement présente sur la zone d'étude c'est-à-dire 74,4% de la population totale (cf. 2.3.2B)), le reste de la population ne pouvant être considéré comme exposé de la même façon. Cela revient au même que de jouer sur le facteur *f* de prévalence de l'exposition, selon le calcul présenté en *Annexe 5*. Ce choix méthodologique primordial induit des incertitudes considérées par la suite.

3.2.1 Données sanitaires de mortalité

Tableau 7 Nombre de décès sur la zone d'étude par type de causes *Source : InVS*

	Toutes causes sauf accidentelles (CIM 10 < S00)		Respiratoire (CIM 10 I00 à I99)		Cardio-vasculaire (CIM 10 J00 à J99)	
	Nombre	Moyenne journalière	Nombre	Moyenne journalière	Nombre	Moyenne journalière
Hiver 2001	324	1.76	24	0.13	113	0.61
Été 2000-2001	330	1.82	17	0.09	99	0.55
Total 2001-2002	654	1.79	41	0.11	212	0.58

On notera que les données de mortalité ne correspondent pas à la période d'étude pour la saison estivale. En effet les données de mortalité disponibles auprès de l'InVS ne courent que jusque la fin de l'année 2001. D'après les guides méthodologiques, cet aspect n'induit pas d'incertitudes significatives étant donné la faible variabilité inter annuelle de la mortalité⁵.

3.2.2 Données sanitaires de morbidité

A) Etablissements concernés

Tableau 8 Etablissements sanitaires visés par l'étude Sources : FINESS et ARH

Raison sociale	N° Finess	Adresse	Catégorie	Statut	Date ouverture	Nb séjours (2003)
CHD Félix Guyon	97 040 002 4	Route de Bellepierre BP 251 97405 St Denis Cedex	Centre Hospitalier départemental	Etab. Public Départemental d'Hospitalisation.	1 Juillet 1957	22236
Hôpital d'enfants de Saint-Denis	97 042 300 0	60 Rue Bertin B P 840 97476 St Denis Cedex	Établissement de Soins Médicaux	Ass.L.1901 non Recon.Util.Pub.	1 Jan 1956	1633
Clinique de Sainte-Clotilde	97 046 210 7	127 Rte du Bois de Nêfles 97492 Ste Clotilde Cx	Établissement de Soins Pluridisciplinaire	Société Anonyme	26 Juin 1970	11913
Clinique Saint Vincent	97 040 484 4	8 Rue de Paris B P 837 97476 St Denis Cx	Établissement de Soins Pluridisciplinaire	Société Anonyme	1 Déc 1999	4843

Quatre établissements sanitaires sont concernés sur la zone d'étude : deux établissements publics (le centre hospitalier départemental et l'hôpital d'enfants), ainsi que deux cliniques privées. Ils constituent les pôles principaux de l'offre de soins sur la zone de Saint Denis d'après les données, notamment cartographiques, de l'ARH Réunion Mayotteⁱ. D'après les données extraites du PMSI le « taux de fuite » (hospitalisations en dehors de la zone de Saint Denis) n'est que de 6,1% sur le secteur de Saint Denis.

B) Résultats

Tableau 9 Admissions hospitalières à Saint-Denis (patients résidant sur la commune de Saint Denis), 2001-2002 Sources : DRASS et hôpitaux

	Admissions pour causes respiratoires				Admissions pour causes cardio-vasculaires		Admissions pour cause cardiaque			
	15-64 ans		65 ans et plus		Tous âges		Tous âges		65 ans et plus	
	Nb	Moy/j	Nb	Moy/j	Nb	Moy/j	Nb	Moy/j	Nb	Moy/j
Hiver 2001	68	1.46	44	2.41	940	5.11	54	3.01	270	1.47
Été 2001-2002	17	1.20	10	2.27	771	4.26	85	2.68	268	1.48
Total 2001-2002	85	1.33	54	2.34	1711	4.69	1039	2.85	538	1.47

ⁱ Voir sur Internet : <http://www.parhtage.sante.fr/re7%5Ccreu/site.nsf/homepage?OpenFrameSet>

3.2.3 Commentaires

Le PMSI est mis en place de la même façon qu'en métropole, la qualité du codage étant toutefois variable suivant les établissements. Du fait de contraintes informatiques et de manques de disponibilité, certaines extractions du PMSI n'ont pu être faites par les DIM. A défaut, les données disponibles à la DRASS (les RSA) ont été utilisées, même si elles engendrent souvent un effet de sous-estimation du nombre de cas. Cependant, on remarquera que les établissements privés retenus ne codent pas de Résumés d'Unité Médicale mais uniquement un diagnostic principal par séjour, sans distinctions d'unités médicales. On a ainsi pu vérifier, dans le cas de la clinique Sainte Clotilde, que les données fournies par le DIM étaient concordantes avec celles des RSA de la DRASS. Autrement dit, à l'heure actuelle, compte tenu des modalités de mise en œuvres du PMSI en cours dans les cliniques Sainte Clotilde et Saint Vincent, l'estimation des admissions pour les motifs cités ne peut être affinée.

3.3 Choix des relations exposition/risque

3.3.1 Généralités

A) Problématique

Dans le cadre de l'évaluation d'impact sanitaire, le choix des relations exposition/risque est primordial. En effet, il s'agit de travailler sur les liens existant entre la pollution atmosphérique et la santé humaine, dans un contexte donné. Idéalement, il faudrait disposer de relations établies au sein de la population d'étude, pour pouvoir quantifier de façon fiable l'impact de la pollution atmosphérique sur cette population. En pratique, ces relations étant rarement disponibles au niveau local, il faut utiliser des modèles établis par des études réalisées au sein de populations comparables, dans des endroits comparables. Il s'agit d'un point clé de l'étude de faisabilité. En effet, les relations classiquement utilisées en Europe, ne sont pas nécessairement adaptées. Certaines relations, déterminées par des études multicentriques, sont utilisées dans des contextes très différents en Europe (le climat, par exemple, peut être très différent du nord au sud de l'Europe), mais elles conservent une certaine légitimité du fait qu'elles ne sortent pas de leur domaine d'élaboration. Cette spécificité des relations fait encore débat et la transposition géographique des RR reste une question délicate³⁴. A la Réunion, aucune étude épidémiologique n'a été menée sur les liens entre pollution atmosphérique de fond et santé. Il semble par conséquent particulièrement indiqué de rechercher des modèles construits à partir d'études épidémiologiques menées dans des endroits ressemblant au contexte réunionnais.

L'OMS aborde cette problématique en considérant que les estimateurs de risques mis en évidence au sein d'une population peuvent être transférés à une autre population, sous réserve que ces deux populations soient similaires au regard de facteurs susceptibles d'influencer l'intensité des risques estimés. Ces facteurs peuvent être, par exemple, la structure des données de morbidité, l'incidence de base des effets sanitaires ou la composition du mélange de pollution atmosphérique³¹. Compte tenu des connaissances encore limitée vis-à-vis des facteurs modificateurs des relations exposition/risque, l'OMS recommande, pour les évaluations d'impact, d'avoir recours à l'estimateur de risque valide le plus précis disponible, même si celui-ci n'a pas été établie au sein de la population d'étude. Dans ce cas, il est recommandé de qualifier et si possible de quantifier les incertitudes liées à ce transfert.

B) Facteurs déterminants

Les relations exposition/risque existantes dans la littérature ont été déterminées à partir d'études épidémiologiques solides et cohérentes³⁸. L'association entre la pollution de l'air et ses effets sur la santé ont été démontrés par ces études, aboutissant la plupart du temps à des relations quasi-linéaires, et souvent sans seuil observable⁷.

Pour parvenir à l'établissement d'une relation exposition/risque pour un indicateur de pollution et un indicateur sanitaires donnés, il faut prendre en compte un ensemble de facteurs de confusion. En effet, les indicateurs utilisés sont soumis à des variations temporelles à long terme (tendance) mais aussi à court et moyen terme (variations saisonnières, mensuelles, hebdomadaires...). En outre, les données sanitaires sont caractérisées par l'existence d'une auto-corrélation : le nombre de cas d'un jour donné n'est pas indépendant de celui des autres jours. En plus de la prise en compte nécessaire de ces phénomènes, le Programme de Surveillance Air et Santé – 9 villes (PSAS)^{232,33} prône la prise en compte de cofacteurs qui ont une influence à la fois sur les indicateurs sanitaires et les indicateurs de pollution, et sont eux même soumis à des variations saisonnières :

- Les données météorologiques (température, humidité) ;
- Les données d'activité grippale (nombre de cas, épidémies) ;
- Les données polliniques (compte journalier pollinique, facteurs allergisants).

La mise en relation des indicateurs sanitaires avec les indicateurs de pollution se fait par modélisation statistique, en prenant en compte pour chaque indicateur les phénomènes de variation, de tendance, de corrélation et les facteurs de confusion connus.

Intrinsèquement, du fait de leur élaboration dans un contexte donné, ces relations sont également représentatives de données sociodémographiques locales : composition et sensibilité de la population, budgets espace-temps. Il est toutefois assez difficile d'analyser la contribution de ces facteurs à la relation, puisqu'ils ne sont pas généralement explicités par les études de référence.

En résumé, la relation exposition/risque déterminée par une étude épidémiologique est le reflet d'une situation donnée et nécessite la prise en compte de nombreux facteurs de confusion. Dans le contexte réunionnais l'ensemble de ces facteurs sont à priori très différents de la métropole, ce qui justifie le choix de considérer les relations européennes comme peu ou pas adaptées au contexte réunionnais.

3.3.2 Etudes bibliographiques - Relations alternatives

A) Méthode d'approche

Pour trouver des relations exposition/risque « adaptables » au contexte réunionnais, des recherches bibliographiques ont été menées. Dans un premier temps, le critère primordial est le contexte climatique. Il est nécessaire de trouver des relations établies dans des régions « chaudes et humides », autrement dit présentant un climat tropical proche de celui de Saint Denis, avec deux saisons principales, des températures oscillant entre 20 et 30°C toute l'année et une pluviométrie importante. A cet effet, le site Internet de Météo France dédié aux « Climats du monde »ⁱ a été utilisé pour une comparaison rapide des climats dans les zones d'étude potentielles (*voir Annexe 11*).

A partir de ce premier critère, un ensemble de relations a été conservé. Par la suite, les critères d'élaboration des relations et notamment les facteurs de confusion pris en compte ont été examinés en comparant la situation présentée avec les éléments connus sur notre zone d'étude.

B) Résultats

Les recherches bibliographiques n'ont pas permis de trouver une relation qui corresponde exactement au contexte réunionnais. En particulier, le climat est assez

ⁱ Voir sur Internet : <http://www.meteo.fr/temps/monde/climats/3-2.htm>

spécifique et il est difficile de trouver un contexte similaire. L'île d'Hawaii semblait particulièrement adaptée¹³ mais aucune étude épidémiologique n'y a été menée sur la pollution atmosphérique urbaine de fond et aucune relation n'est disponible dans ce contexte. Néanmoins plusieurs références intéressantes ont été trouvées et sont présentées ci-après

a) *Cas d'études à Hong Kong (Chine)*

Une série d'études a été menée à Hong Kong sur les liens entre pollution et mortalité et entre pollution et admissions hospitalières. Comme Saint Denis, Hong Kong est soumise à un climat tropical humide. Cependant, les saisons sont inversées: la saison chaude va de avril à septembre. En outre, ce climat est plus humide et la température peut descendre plus bas. (Voir Annexe 11)

La pollution atmosphérique à Hong Kong est un problème majeur. L'ensemble des indicateurs atteint des niveaux importants, hormis l'ozone qui présente des niveaux comparables à ceux mesurés à Saint Denis.

Une première étude menée à Hong Kong a permis d'établir des relations entre les indicateurs de qualité de l'air et les données d'admission hospitalières⁴³. Des associations significatives ont été mises en évidence entre les admissions pour causes respiratoires ou cardio-vasculaires et une augmentation de 10 µg/m³ des quatre indicateurs de pollution classiques.

Une étude a également examiné les liens existants entre les quatre indicateurs de pollution et la mortalité quotidienne par cause⁴⁴. Les méthodes mises en œuvre correspondent aux études épidémiologiques de référence (APHEA). Des excès de risques significatifs ont été mis en évidence pour le NO₂, l'O₃ et le SO₂ avec tous les indicateurs de mortalité, mais pas pour les particules. Comme à Saint Denis la mortalité et les concentrations en polluants atmosphériques sont plus élevées en saison fraîche qu'en saison chaude, et des relations valides et significatives ont été établies entre les indicateurs de qualité de l'air et de mortalité, uniquement pour la saison fraîche ou sur l'année entière.

Un apport essentiel de ces deux études est d'avoir mis en évidence des impacts sanitaires liés à l'ozone plus important en saison fraîche qu'en saison chaude, contrairement à ce qui est observé en Europe.

b) *Cas d'étude à Brisbane (Australie)*

Deux études ont également été menées à Brisbane en Australie, sur les associations entre la pollution atmosphérique et, respectivement, les admissions hospitalières⁴⁵ et la mortalité quotidienne⁴⁶. Ces travaux sont particulièrement intéressants dans le cadre de notre étude, car la situation de la ville de Brisbane se rapproche sensiblement de celle de Saint Denis. Le climat y est en effet très semblable, tropical avec un hiver doux et sec et un été chaud et humide. Les températures peuvent toutefois être plus fraîches en hiver et la pluviométrie est moins importante (voir Annexe 11). La zone de Brisbane se caractérise également par des étendues littorales bordées par une topographie complexe, montagneuse par endroits.

En comparaison avec d'autres grandes villes d'Australie, les niveaux de pollution atmosphérique à Brisbane sont globalement faibles et dépassent rarement les valeurs recommandées localement. Comparativement à Saint Denis, les concentrations en O₃ sont légèrement moins importantes à Brisbane, alors que les niveaux des autres indicateurs sont plus élevés, même s'ils restent peu importants, notamment par rapport à Hong Kong. Pourtant, d'après les études réalisées, ces indicateurs, même à des valeurs faibles, auraient un impact sanitaire non négligeable. Des associations significatives ont en effet été identifiées, en particulier entre trois indicateurs de pollution (O₃, particules, NO₂) et les admissions hospitalières⁴⁵. Concernant la mortalité quotidienne, des risques significatifs ont été mis en évidence entre les indicateurs de pollution à l'ozone et aux particules et la

mortalité quotidienne pour les personnes âgées⁴⁶ (plus de 65 ans). Les méthodes mises en œuvre correspondent aux études épidémiologiques de référence (APHEA).

c) *Autres relations*

A titre comparatif, d'autres RR ont été utilisés, même s'ils sont probablement moins représentatifs d'une situation comparable en termes de niveaux de pollution ou de variables climatiques et géographiques. Les relations préconisées par l'OMS⁴², incluses dans le logiciel Air Q, ont également été utilisées, à titre de référence internationale. Ces RR sont extraits de diverses études épidémiologiques reconnues.

D'autres relations ont été trouvées à travers le monde (Malaisie, Chine⁴⁷, Thaïlande⁴⁸...), mais compte tenu de disparités importantes (d'un point de vue climatique, géographique populationnel ou méthodologique) il n'a pas semblé pertinent de les retenir.

3.3.3 Relations retenues

Les relations retenues sont présentées en *Annexe 12*. Dans un premier temps, les RR inclus par défaut dans le logiciel pour la réalisation d'EIS en France ont été conservés. L'introduction de relations alternatives, vraisemblablement plus adaptées au contexte réunionnais permet ensuite d'étudier leur influence sur les résultats. On procède ainsi à une analyse de sensibilité « simple » en faisant varier un seul des paramètres du calcul de nombres de cas attribuables. Les relations issues des études menées à Brisbane semblent ainsi particulièrement indiquées.

3.4 Calcul d'EIS, Première approche

3.4.1 EIS « standard »

A) Résultats

Les résultats d'une évaluation d'impact sanitaire s'expriment généralement suivant trois scénarii différents, d'après le choix du niveau de référence⁶. Ce niveau peut être :

- un niveau virtuel de faible exposition, choisi par rapport à la distribution des niveaux de pollution (scénario 1). Ce choix permet d'évaluer l'impact global au niveau local de la pollution atmosphérique, mais ne représente pas un objectif raisonnable en termes d'action.
- un niveau d'alerte de la réglementation (scénario 2). Dans ce cas, le nombre de cas attribuables représente l'impact sanitaire (généralement faible) lié au dépassement des normes. Ce second scénario a un objectif pédagogique.
- un niveau de concentration ambiante à atteindre (scénario 3), soit absolu soit en % de l'exposition observée. Ce scénario permet d'évaluer les retombées sanitaires d'objectifs de gestion de la qualité de l'air.

A titre d'exemple, un calcul a été réalisé à partir des modèles de relations incluses dans le logiciel EIS – PA 2.0. Les principaux résultats de ce calcul en première approche sont présentés en *Annexe 12*. Malgré les incertitudes, ces calculs sont réalisés à titre indicatif pour juger de l'influence de l'introduction des relations alternatives et pour avoir une idée de l'impact sanitaire potentiel. Il faut également considérer les relations de référence incluses dans les guides comme les plus précises connues à l'heure actuelle et fondées sur des études épidémiologiques multiples, puissantes et cohérentes. A ce titre, leur utilisation n'est pas moins indiquée que des relations moins précises qui correspondent plus au contexte local³¹.

a) *Impact à court terme*

Pour tenir compte des faibles niveaux de pollution en NO₂ et SO₂, le niveau de référence correspondant au premier scénario a été choisi égal au percentile 5, c'est-à-dire

inférieur à $1\mu\text{g}/\text{m}^3$. Malgré cette valeur très faible (hypothèse irréaliste), l'impact estimé de ces polluants reste très limité, inférieur à 2 cas attribuables par an suivant l'indicateur sanitaire choisi. Les gains sanitaires potentiels (scénario 3) sont également négligeables. Ces résultats étaient prévisibles, compte tenu des concentrations mesurées. Cela confirme qu'il n'est pas pertinent dans un premier temps de retenir ces deux indicateurs de pollution pour le calcul d'impact sanitaire dans notre zone d'étude. Les limites de la zone d'étude et de la pollution de fond induisent en effet des impacts trop faibles pour être considérés. Dans la suite de l'étude, nous ferons donc essentiellement référence aux deux autres indicateurs, à savoir les PM10 et l'O₃.

En première approche l'impact le plus important est attribuable à l'ozone, aussi bien pour les indicateurs de mortalité que de morbidité. Les niveaux de référence (considérés comme représentant des niveaux de pollution faibles) ont été définis en fonction de la distribution locale des polluants. Ainsi, une moyenne de $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ proposée comme référence dans la méthodologie ne peut pas être considéré comme un niveau faible de pollution pour l'ozone. La valeur de $18\mu\text{g}/\text{m}^3$ a été introduite, correspondant au percentile 5 de la distribution des valeurs moyennes journalières. Concernant les PM10, la valeur de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ a été conservée, puisqu'elle est inférieure au percentile 5 de la distribution.

Par rapport à ces niveaux de référence, concernant la mortalité totale, entre 2 et 8 décès anticipés sont attribuables à la pollution par l'ozone sur la zone d'étude. Comparativement, l'impact des PM10 est de 1 à 2 décès par an. L'ozone aurait également un impact significatif sur la mortalité cardiovasculaire (entre 1 et 5 décès par an) mais plutôt limité sur la mortalité respiratoire (moins d'un décès).

Concernant les indicateurs de morbidité, l'indicateur sanitaire le plus impacté est la morbidité respiratoire des plus de 65 ans, avec plus de 8 cas (8,58 ; IC : [4,27 – 15,13]) attribuables à l'ozone et presque 3 cas (2,96 ; IC 95 % : [1,97 – 4,28]) attribuables aux PM10. L'ozone aurait également un impact non négligeable sur la morbidité respiratoire pour la classe d'âge 15-64 ans ; et les PM10 sur la morbidité cardiaque (*Voir annexe 12*).

b) *Impact à long terme*

La seule fonction exposition/risque « long terme » considérée comme valide et utilisable dans le cadre d'une EIS est celle reliant la concentration en PM10 à la mortalité toutes causes. Cette relation est issue de l'étude tri-nationale européenne⁷. D'après un premier calcul, plus de 8 décès (8,03 ; IC 95% [4,87 – 11,34]) seraient évitables par une réduction de $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ des niveaux de pollution atmosphérique en PM10 actuels.

B) Commentaires

Ces résultats ne sont pas exploitables tels quels, compte tenu des choix méthodologiques déjà explicités. Néanmoins ils préfigurent un impact potentiel de la pollution atmosphérique urbaine à Saint Denis. Les niveaux de pollution particulaire peuvent être considérés comme significatifs et bien qu'encore limités, présentant un impact sanitaire non négligeable, en particulier à long terme. Conformément à la méthodologie de l'EIS, les impacts calculés ne sont pas cumulables par indicateur car ils sont les traceurs du facteur de risque qu'est la pollution atmosphérique. Il est d'usage de considérer l'impact sanitaire le plus important comme représentatif de l'impact global de la pollution.

3.4.2 Variabilité des résultats par rapport aux relations exposition/risque issues de la bibliographie.

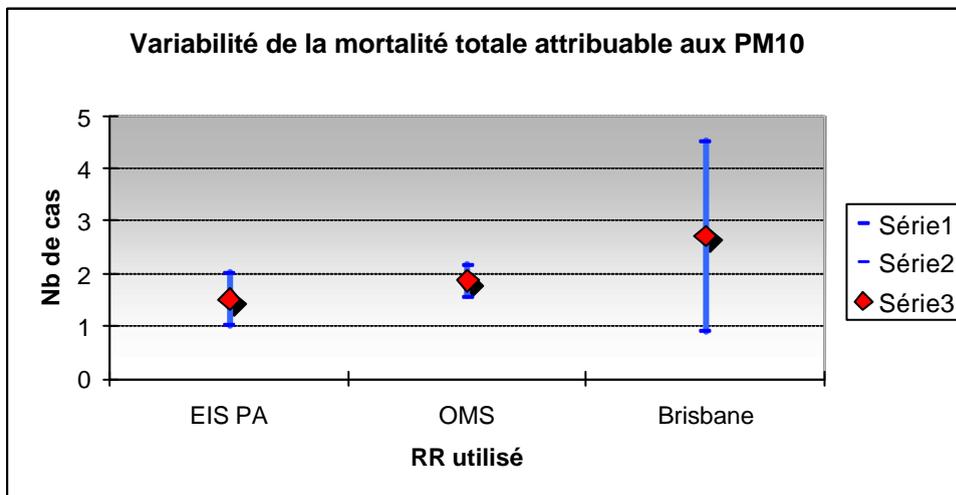
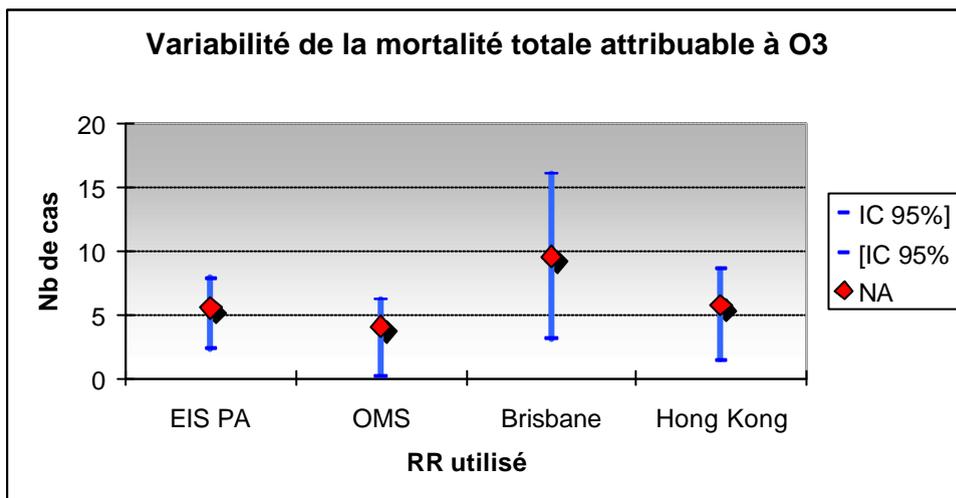
A) Méthode

Les relations exposition/risque disponibles dans la littérature ont été introduites pour étudier la variabilité des résultats suivant ce paramètre primordial (*voir Annexe 12*). Les impacts a priori les plus significatifs ont été retenus pour les indicateurs O₃ et PM10 pour comparaison avec d'autres relations : Mortalité totale, morbidité respiratoire par classe d'âge, morbidité cardiaque. Les RR trouvés dans la littérature ne sont pas toujours directement

comparables avec les données de références, du fait de l'utilisation d'unités différentes (pphm, ppb, $\mu\text{g}/\text{m}^3$, bsp) ou parce qu'ils sont définis par rapport à des niveaux de référence différents (pour une augmentation de 1 pphm, pour une extrapolation du 10^e au 90^e percentile...). Des conversions ont donc été nécessaires, ajoutant parfois aux approximations, en particulier dans le cas d'introduction de facteurs de comparaison entre des techniques de mesure différentes⁴⁵ (PM10). En outre, les relations ne sont pas toujours disponibles pour les mêmes indicateurs sanitaires, ce qui ne permet pas de comparaison sur l'ensemble des effets.

B) Résultats

(Voir en annexe 11)



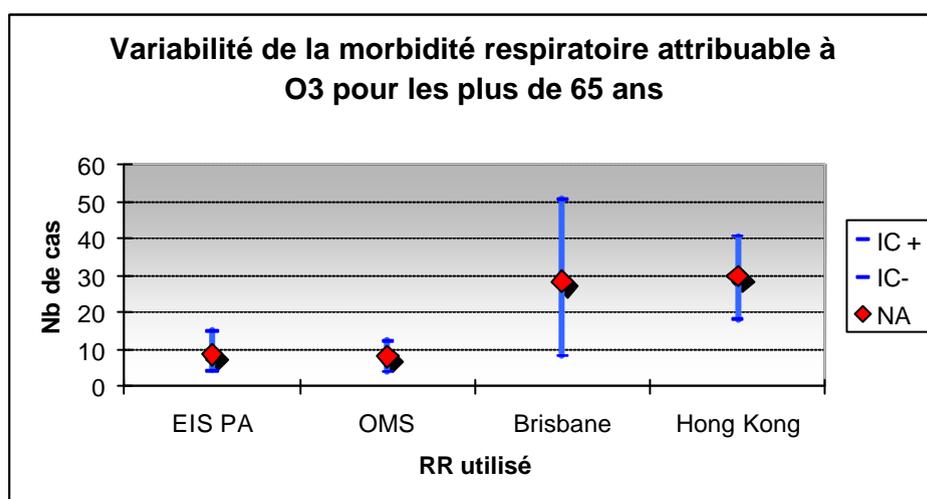
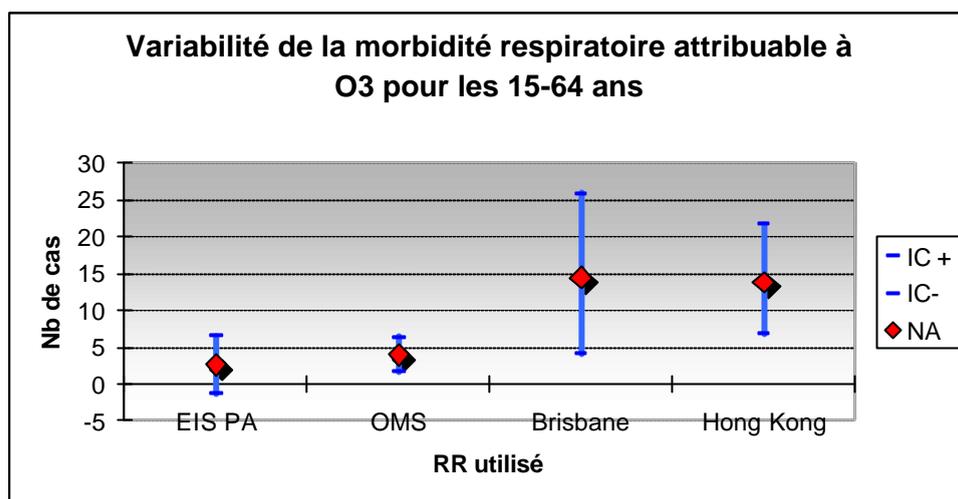


Figure 7 Graphes de variation de l'impact suivant le choix de la relation exposition risque (principaux résultats)

C) Commentaires

L'introduction de relations exposition/risque alternatives permet d'évaluer les variations potentielles de l'impact sanitaire sur la zone d'étude. Les relations sélectionnées, quoique moins précises (intervalle de confiance plus large), sont censées mieux correspondre à la situation locale.

On constate, suivant les indicateurs sanitaires, des différences plus ou moins importantes. Les indicateurs de mortalité (totale, ou respiratoire et cardiovasculaire pour l'O₃) ne subissent pas de variation très importantes et les impacts sont comparables d'une relation à l'autre (variations d'un facteur < 2 en général).

En revanche les indicateurs de morbidité connaissent des impacts assez différents suivant les relations mises en œuvre. Pour la morbidité respiratoire les impacts attribuables à l'O₃ seraient beaucoup plus importants à Saint Denis, si l'on se réfère aux modèles élaborés à Hong Kong (facteur ≈ 4) ou Brisbane (facteur ≈ 5). Dans le cas de Hong Kong, l'intervalle de confiance est disjoint des autres intervalles.

Concernant les impacts sur la morbidité liés aux PM₁₀, les RR disponibles ne concernent que la morbidité respiratoire pour les plus de 65 ans. Le choix de l'estimateur de risque induit des variations de l'impact d'un facteur 6 à 7.

On notera que malgré ces variations relativement importantes, les impacts considérés restent du même ordre de grandeur (on a pas de facteur >10).

4 DISCUSSION

4.1 Interprétation et limites des résultats

Dans le cadre particulier de cette étude de faisabilité, les calculs d'impacts et l'analyse de leur variabilité ont été réalisés pour étudier l'influence des différents points clés sur une éventuelle EIS complète. Ces résultats montrent cependant la potentialité d'un impact sanitaire lié à la pollution atmosphérique urbaine de fond dans une grande agglomération de l'île de la Réunion. En plus des incertitudes inhérentes à une démarche d'EIS « classique », la discussion doit donc porter avant tout sur les pré requis et les éléments préalables à la réalisation de l'étude. Compte tenu de la nature des éléments mis en jeu, l'analyse des incertitudes sera essentiellement qualitative.

4.2 Analyse des incertitudes

4.2.1 Exposition

A) Choix de la période d'étude

En construisant le graphe des périodes de disponibilités journalières (*voir Annexe 9*) il est d'abord apparu que la période correspondant aux années 2002 – 2003 (de mai à avril) était le meilleur compromis au niveau de la disponibilité des données de mesure validées par l'ORA. En effet, pour cette période, relativement peu de données paraissent manquantes au premier abord. Cependant en retenant cette période et en construisant les indicateurs d'exposition afférents, il s'est avéré que leurs valeurs étaient plus élevées en moyenne pour la saison estivale (australe) que pour la saison hivernale, contrairement à ce qui est observé d'ordinaire par l'ORA (*cf. 1.2.2C*) et ce pour tous les polluants étudiés.

a) *Influence de la météorologie*

L'influence des paramètres météorologiques est certainement prépondérante dans ce phénomène inhabituel. En effet, en comparant les paramètres météorologiques pour les périodes 2001-2002, 2002-2003, et 2004-2005 avec les paramètres de référence (*voir Annexe 10*) plusieurs constatations peuvent être faites :

- Concernant les températures, la période 2002-2003 a été en moyenne plus chaude, en particulier en été.
- L'hiver 2002 (de mai à novembre) a été inhabituellement pluvieux.
- Parmi les périodes sélectionnées, 2002-2003 est la moins ensoleillée alors que 2001-2002 est la plus ensoleillée.
- Les vents forts ont été plus fréquents en 2002-2003 qu'en moyenne, en particulier en hiver.

L'ensemble de ces facteurs peut expliquer, en partie, les différences observées dans les niveaux moyens de pollution annuels (soit pour deux saisons tropiques). En effet l'hiver 2002 a été peu ensoleillé, assez pluvieux et venteux, ce qui peut expliquer une dispersion plus importante des polluants, voire une formation moins importante. Cette analyse succincte montre l'influence notable des facteurs météorologiques moyens sur les indicateurs de qualité de l'air dans la zone d'étude. La diversité de microclimats et la variabilité importante de la météorologie sur le territoire réunionnais¹¹ sont donc à traiter avec précaution pour ne pas fausser la représentativité des données de la qualité de l'air pour une zone donnée de l'île.

b) *Disponibilité des données*

En analysant les pourcentages de valeurs manquantes pour chaque période d'étude éligible, la période 2001-2002 s'est révélée finalement plus satisfaisante que la période

2002-2003. En effet si les moyennes journalières sont mesurées de façon plus régulière dans le deuxième cas, on atteint tout de même un taux de 29% de valeurs manquantes (pour le NO₂) contre un peu plus de 20% (pour les PM10) pour la période d'étude effectivement sélectionnée.

Il aurait été possible de sélectionner une période d'étude plus longue sur plusieurs années. Le choix d'une période d'étude restreinte donne certes une vision limitée mais permet en contrepartie de contrôler certains facteurs (météorologie, notamment) et d'en étudier plus finement l'influence, en comparaison avec les autres périodes d'études. La période 2003-2004, outre une moins bonne disponibilité du réseau de mesure de qualité de l'air, aurait certainement posé des problèmes supplémentaires pour l'extraction des données sanitaires de morbidité. Les périodes antérieures à 2001 ne sont pas satisfaisantes du point de vue des mesures de qualité de l'air et la période 2004-2005 ne pouvait pas encore être utilisée compte tenu des délais de validation des données.

B) Evaluation de la qualité de l'air

a) *Zone d'étude*

Un des points clés des EIS est la mesure des immissions (concentrations dans l'air ambiant) et leur extrapolation à l'exposition des personnes. Il est en effet primordial de pouvoir considérer que sur la zone d'étude la population est exposée à un même niveau de pollution atmosphérique, connu. Il s'agit d'un point faible quant à la faisabilité d'une EIS à la Réunion puisque les stations de mesure de la pollution urbaine de fond y sont encore peu nombreuses. Le recours à une station unique dans le cadre de notre étude soulève le problème de la représentativité des mesures. Les éléments en faveur d'une bonne estimation sont une situation centrale dans la zone, l'absence de sources majeures de pollution industrielle et une bonne corrélation spatio-temporelle avec la majorité des campagnes de mesure réalisées sur zone. Les éléments défavorables sont la présence d'axes de trafic importants sur la zone (sources potentielles de pollutions localisées), la présence d'une végétation importante, le relief irrégulier et les conditions météorologiques disparates.

Ces aspects sont difficiles à quantifier et à analyser, néanmoins les meilleures données disponibles ont été recherchées pour estimer l'ordre de grandeur de l'exposition. La délimitation de la zone d'étude a répondu à la double contrainte d'une population suffisamment importante et d'une exposition homogène. Concernant la population exposée, l'évaluation s'est faite le plus finement possible afin de pouvoir bénéficier d'une population importante, sans négliger les limites de ce type d'étude. Là encore, les incertitudes sont difficiles à quantifier mais l'on peut raisonnablement penser que des données anciennes (recensement de 1999) ajoutées à une limitation géographique de la zone d'étude conduiront à une sous-estimation de l'impact de la pollution sur l'agglomération de Saint Denis.

b) *Indicateurs de pollution*

Les indicateurs de pollution retenus correspondent à ceux mesurés en continu par le réseau de mesures et généralement retenus pour des EIS. L'utilisation d'indicateurs standard permet les comparaisons avec des études internationales. Cependant tout laisse à penser que ces indicateurs, ne sont pas les traceurs de la même pollution atmosphérique dans le contexte local. C'est-à-dire que la composition du mélange complexe de polluants n'est certainement pas la même qu'ailleurs. Par conséquent les niveaux des indicateurs choisis ne reflètent pas la même pollution que les mêmes niveaux relevés ailleurs. Cette source d'incertitude rejoint celle de l'exportation géographique de la relation exposition/risque mais elle se situe en amont (cf. figure) Si la relation entre le mélange atmosphérique et l'indicateur n'est pas la même la relation exposition/risque n'est pas valide.

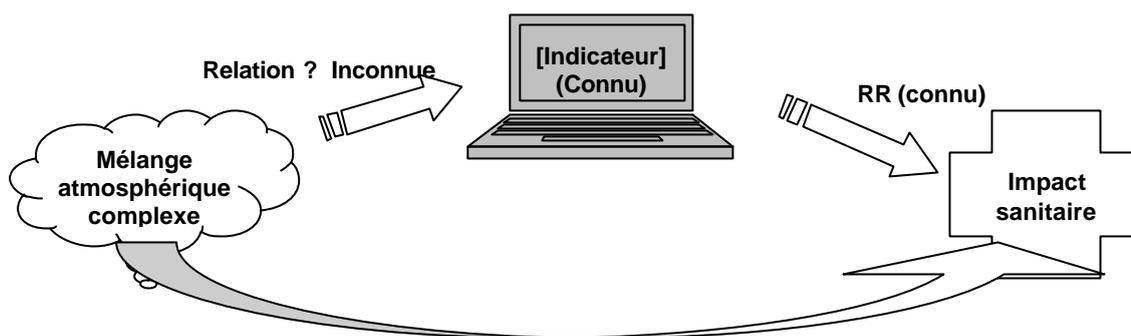


Figure 8 Liens entre pollution atmosphérique et santé?

La relation entre « soupe » de polluants et indicateurs est difficile à déterminer et à quantifier mais elle est connue et transférable dans certains contextes (entre pays industrialisés d'Europe, par exemple)³⁴. Le problème se pose pour la Réunion où peu de travaux permettent d'établir la représentativité des indicateurs de pollution. Les mécanismes de formation de l'ozone en particulier semblent être différents de ceux des zones urbaines de métropole.

C) Population exposée

Une des sources majeures d'incertitudes quant à la faisabilité de l'EIS est la limitation de la zone d'étude à une zone infra communale. En effet, les données sanitaires ne sont disponibles qu'à l'échelle de la commune et l'approximation réalisée suivant le pourcentage de population effectivement présent sur la zone génère des incertitudes quant à la représentativité de l'impact. En effet, à partir du moment où une partie de la population de la commune est exposée à des conditions de qualité de l'air et de météorologie radicalement différentes, on peut se demander si l'impact sur ce groupe serait le même. Autrement dit, cette approximation conduit très probablement à une sous-estimation de l'impact réel, puisque les environs de Saint Denis sont essentiellement des zones rurales et/ou montagneuses, donc a priori très peu polluées.

On pourrait considérer par hypothèse toute la population de la commune de Saint Denis comme exposée à un même niveau de pollution de fond. Dans ce cas, l'ensemble des cas pour chaque indicateur sanitaire serait à prendre en compte. On aboutirait alors à un impact 1,2 à 1,4 fois plus importants. Ce facteur était prévisible il correspond en fait à la proportion de population retenue (74,4%) pour la zone. On peut ainsi avoir une quantification de la sous-estimation maximale de l'impact.

L'extension de la zone d'étude n'est méthodologiquement pas acceptable et la zone choisie est la seule zone possible, à l'heure actuelle, pour la mise en œuvre d'une EIS à la Réunion. Aucun autre secteur ne rassemble pour l'instant les caractéristiques nécessaires en termes d'urbanisation et de réseau de mesure de la qualité de l'air.

4.2.2 Indicateurs sanitaires

L'acquisition des données sanitaires de mortalité et de morbidité s'est faite telle qu'elle est préconisée dans la méthodologie d'EIS.

Les données de mortalité n'étaient disponibles que jusqu'en 2001, ce qui limite l'interprétation des impacts sur la mortalité pour notre période d'étude.

Les indicateurs sanitaires de morbidité sélectionnés font partie des indicateurs recommandés par les instances sanitaires pour évaluer les effets de la pollution atmosphérique sur la santé. Néanmoins leur représentativité est là aussi discutable compte tenu du contexte spécifique et de la sensibilité globale de la population, potentiellement différente de celle que l'on peut rencontrer en Europe. L'extraction des données du PMSI a

été limitée compte tenu de difficultés locales. L'utilisation, à défaut, des données de la DRASS conduit probablement à une sous-estimation de l'impact. En effet, dans le cas du principal établissement hospitalier de la zone, les données de DP des 1^{er} RUM (utilisées pour notre étude) extraites montrent des différences importantes avec les RSA du même établissement.

L'importance de l'asthme à la Réunion constitue un autre facteur d'incertitude. Cette maladie chronique constitue un facteur de mortalité et de morbidité comparativement plus important qu'en métropole⁴⁹. Sa comptabilisation dans les indicateurs sanitaires peut amener à une surestimation de l'impact attribuable. Les causes étiologiques de l'asthme sont en effet encore méconnues et la contribution de la pollution chimique est complexe, même si elle n'est probablement pas prépondérante⁵⁰. Les mécanismes à l'origine de l'asthme sont certainement différents entre la métropole et la Réunion. On en revient, encore une fois, à la validité du RR, suivant sa méthode d'élaboration.

4.2.3 Relations exposition/risque

Les incertitudes liées à l'utilisation de relations exposition/risque « importées » ont été soulevées à maintes reprises. Elles sont difficiles à qualifier et à quantifier car la relation considérée constitue l'élément central d'une évaluation d'impact sanitaire.

A) Recherches bibliographiques

Les relations trouvées dans la littérature sont moins nombreuses que l'on pouvait s'y attendre. En effet, aucune étude dans un contexte climatique, géographique et populationnel suffisamment ressemblant n'a été relevée. Le meilleur compromis est sans doute celui de Brisbane^{45,46}, même si les comparaisons entre RR restent soumis à des incertitudes :

- les intervalles de confiance sont plus larges donc on a des RR moins "précis" et qui s'appuient sur moins de données que les études multicentriques et ne prennent pas en compte certains facteurs de confusion, en particulier les pollens;
- les relations significatives sont moins nombreuses c'est à dire que le lien n'est pas toujours établi pour les même indicateurs (de pollution et sanitaires) que ceux que l'on étudie normalement ;
- des conversions ont été faites: les RR de cette étude correspondent à une augmentation de 1 pphm du niveau de pollution. De plus, ce ne sont pas directement les PM10 qui sont mesurées mais un coefficient de diffraction de la lumière due aux particules en suspension dans l'air qui est utilisé pour déterminer niveau de concentration en particules (technique de néphélométrie, unité: bsp). Ces conversions rajoutent des incertitudes et en général la technique de néphélométrie conduit à une surestimation des concentrations en PM10

Les autres relations introduites, provenant de Hong Kong en particulier, sont directement comparables (du point de vue des unités et des RR mis en évidence) mais ne reflètent pas la même situation. Elles concernent essentiellement des niveaux de pollution beaucoup plus élevés. Sous l'hypothèse d'une relation linéaire sans seuil, on peut bien sûr les extrapoler aux niveaux bas mais cela engendre probablement des erreurs plus importantes.

Bien entendu, il était illusoire d'espérer trouver une relation « idéale » correspondant parfaitement au contexte souhaité, attendu que la seule relation rigoureusement satisfaisante serait celle établie sur place pour la zone d'étude délimitée, sous réserve d'une puissance suffisante. Les recherches menées ont tout de même permis de trouver des références intéressantes et cohérentes entre elles et également de constater que la méthodologie d'EIS est mise en place de façon assez standardisée à travers le monde, ce qui permet de faire des comparaisons avec un degré de confiance satisfaisant. Cependant les études épidémiologiques menées sur le lien entre pollution atmosphérique et santé au sein des petites populations, dans des zones à priori « peu polluées » restent encore (assez logiquement) peu nombreuses. Cela ne signifie pas qu'elles sont inutiles puisque l'absence

de seuil d'innocuité de la pollution est de plus en plus mise en avant, en particulier pour des expositions à long terme.

Une étude comparative a été menée sur les effets de la pollution de l'air sur les admissions hospitalières à Hong Kong et Londres⁵¹. Le but de ce travail était essentiellement de renforcer la causalité des associations entre pollution de l'air et santé en examinant la cohérence des résultats dans des environnements comparables mais différents en termes de climats, de modes de vie et de facteurs environnementaux. En relation avec notre étude, ces travaux permettent de confirmer plusieurs aspects intéressants :

- Les études multicentriques sur les effets sanitaires de la pollution atmosphérique sont pour l'instant limitées à des contextes correspondant à des climats tempérés.
- La saisonnalité des effets est inversée dans les deux cités néanmoins le dénominateur commun de la saison présentant le plus de cas est un niveau globalement plus élevé de polluants et une humidité moindre.
- Malgré des conditions climato géographiques et sociodémographiques très différentes, des associations similaires et significatives peuvent être établies entre la pollution atmosphérique et les admissions hospitalières pour causes cardio-respiratoires.

B) Budgets espace temps

L'introduction de Budgets Espace Temps (BET) relatifs à la population réunionnaise avait été envisagée pour pondérer le risque relatif par les spécificités du mode de vie local. Cependant, pour une EIS, on fait l'hypothèse que les variations journalières de l'exposition estimée (par la mesure des immissions) constituent un indicateur non biaisé des variations journalières de la moyenne des expositions individuelles qui, elles, sont inconnues^{5,6}. Or, le budget espace-temps caractérise ces expositions individuelles : le lien avec l'indicateur agrégé d'exposition ou plutôt avec ses variations journalières est inconnu. Si l'on voulait étudier l'influence d'un BET sur une relation exposition/risque il faudrait disposer du BET « d'origine », de la population qui a servi à l'élaboration du RR. Malheureusement, ce budget espace-temps est rarement explicitement pris en compte dans les études épidémiologiques à l'origine des relations exposition/risque, même s'il a une influence implicite sur celles-ci : il modifie le lien entre l'immission mesurée et l'exposition réelle. Afin de rester cohérent avec les études épidémiologiques de référence, il est donc délicat d'introduire des budgets espace temps au niveau d'une EIS. En outre, des études menées en métropole quant à l'introduction de facteurs (BET, mesures en proximité trafic...) visant à affiner la connaissance de l'exposition réelle « n'ont pas montré de résultats significativement différents en termes de risques relatifs »⁶.



Cependant il y a tout lieu de penser qu'à la Réunion, la population passe plus de temps en moyenne à l'extérieur qu'en Europe et que les habitations sont plus « aérées », c'est-à-dire que les ratios d'exposition air extérieur/air intérieur sont différents, si tant est que l'on puisse parler d'air intérieur. Si les comparaisons dans des situations proches (entre pays d'Europe) n'ont pas montré de nécessité de prise en compte, la question est différente pour un contexte tropical. Il est probable que l'estimation de l'exposition via les mesures dans l'air ambiant est plus proche de la réalité à la Réunion qu'en France métropolitaine, en ce qui concerne l'exposition moyenne réelle et ses variations dans le temps. Rappelons en effet que la température moyenne sur la zone d'étude se situe entre 18°C et 30°C toute l'année et ne descend que très rarement en dessous de 15°C ce qui n'invite pas vraiment au confinement ; hormis pour les personnes disposant d'air conditionné, ce qui serait alors un autre facteur d'hétérogénéité des expositions à prendre en compte. Il faut ajouter à ces paramètres les déplacements de population qui semblent cependant limités (cf. 2.3.2B)) sur notre zone. S'il est difficile de répondre sans faille à cette question spatio-temporelle des

BET, on peut donc subodorer que le recours à des RR issus d'études européennes conduit à une sous-estimation du risque dans le contexte réunionnais.

Les études menées à Brisbane et Hong Kong abondent dans ce sens. En Australie l'hypothèse est faite d'une plus grande proportion de la population exposée à l'ozone pendant l'hiver compte tenu du climat local chaud et sec en hiver par rapport au climat européen qui amèneraient les habitants à rester enfermés chez eux⁴⁵. Cet aspect permettrait d'expliquer en partie les effets sanitaires attribuables à l'ozone observés toute l'année. Le même type d'hypothèse est formulée dans les études chinoises : considérant que l'hiver est la saison la plus sèche, la moins nuageuse et la plus « stable », les gens sont alors plus susceptibles de sortir et d'ouvrir les fenêtres, s'exposant à des niveaux de pollution plus importants⁴⁴. Cette hypothèse va même plus loin en soulignant que pendant l'été, le recours à la climatisation plus important réduirait l'exposition à la pollution de l'air extérieur. En généralisant, dans les zones tropicales, les paramètres climatiques inverseraient à la fois les saisonnalités des niveaux moyens de polluants et des comportements de populations, expliquant ainsi les impacts sanitaires attribuables à la pollution atmosphérique urbaine généralement plus importants en saison fraîche et sèche.

4.2.4 Autres facteurs

D'autres facteurs interviennent dans les incertitudes liées à l'établissement d'un lien entre pollution atmosphérique et santé à la Réunion.

Nous avons vu que les connaissances sur l'influence des pollens sur la santé notamment du fait de leur caractère allergène restent limitées. Ils constituent pourtant un facteur important de confusion vis-à-vis de l'établissement de risques imputables à la pollution atmosphérique urbaine d'origine anthropique, même s'il est difficile de faire la part des contributions respectives de chaque agent. D'autant plus que ces pollens entrent très probablement en interaction avec les polluants chimiques de l'air, exacerbant ainsi leurs effets sur la santé⁵⁰. La non prise en compte de l'influence de ces pollens dans l'établissement d'une relation exposition/risque à la Réunion serait une source d'incertitude. Ce facteur peut être l'explication d'une surestimation de l'impact lors de l'utilisation de relations « tropicales » ne l'ayant pas pris en compte (Brisbane, Hong Kong). Les relations définies en Europe et prenant en compte des pollens différents ne répondent également pas à cette problématique.

L'impact sanitaire du volcanisme à la Réunion a également été envisagé. Le volcan est en effet à l'origine de pics de « pollution naturelle » au SO₂ non négligeables et mesurables jusque dans Saint Denis. Néanmoins, cette problématique de pics ne s'inscrit pas dans le cadre d'une EIS et les pics engendrés n'ont pas d'impact significatif sur la moyenne annuelle de SO₂.

4.3 Hiérarchisation des incertitudes

Nous avons pu voir que dans le cadre de la faisabilité méthodologique de l'EIS à la Réunion, les incertitudes sont nombreuses et diverses. Il n'est pas aisé de les comparer et de les hiérarchiser, mais on peut cependant estimer la nature de leur effet sur l'impact évalué. On notera que la majorité de ces incertitudes se rapporte à la validité des coefficients exposition/risque. Le choix de la relation exposition/risque constitue le facteur d'incertitude le plus important. Globalement, il faut rappeler que les résultats généraux d'une EIS doivent être considérés comme une sous-estimation de l'impact sanitaire réel de la pollution atmosphérique^{5,35}.

Tableau 10 Hiérarchie estimée et quantification partielle des incertitudes (par ordre décroissant d'importance)

	Source d'incertitude	Influence prévisible sur l'impact	Ordre de grandeur des variations de l'impact (facteur multiplicatif)
1	Choix de la relation exposition/risque	Sur ou sous-estimation	de 1 à 8
2	Restriction géographique de la zone d'étude	Sous-estimation	de 1.2 à 1.3
3	Choix d'indicateurs de pollution pour représenter une pollution globale	Sous-estimation	Inconnu
4	Indisponibilités des données de qualité de l'air	Sous-estimation	Inconnu
5	Indisponibilités des données sanitaires	Sous-estimation	Inconnu
6	Hypothèse d'homogénéité de la qualité de l'air	Sur ou sous-estimation	Inconnu
7	Paramètres météorologiques	Sur ou sous-estimation	Inconnu
8	Choix de la période d'étude	Sur ou sous-estimation	Inconnu
9	Non prise en compte de budgets espace-temps	Sous-estimation	Inconnu

5 CONCLUSIONS – RECOMMANDATIONS

En se plaçant dans les conditions réelles de réalisation d'une évaluation d'impact sanitaire de la pollution atmosphérique il a été possible d'atteindre les principaux objectifs fixés par cette étude.

5.1 Faisabilité d'une EIS : bilan

A) Zone d'étude

Les données nécessaires à l'établissement d'un domaine d'étude (population et déplacements, zone, données météorologiques) ont pu être collectés sans grande difficulté auprès des partenaires locaux. Les incertitudes sont nombreuses cependant quant à la définition d'une zone exceptionnellement restreinte et à l'attribution des impacts sanitaires correspondants. L'interrogation initiale de ce travail concernait l'homogénéité spatiale de la pollution atmosphérique non établie pour l'ensemble d'une commune à la Réunion et l'utilisation contradictoire de données sanitaires collectées à l'échelle d'une commune. Le travail réalisé a permis d'évaluer la précision des données sanitaires disponibles et l'incertitude liée à cette restriction de l'impact sanitaire à une population donnée. Cette restriction conduit à une sous estimation de l'impact sur la zone d'étude sans qu'il soit pour autant possible à l'heure actuelle de réduire cette incertitude.

B) Analyse des données requises

Les données nécessaires à la faisabilité d'une EIS se sont avérées disponibles et valides dans le contexte local même si certaines réserves existent.

Les données de qualité de l'air disponibles sont valides et utilisables dans le cadre d'une EIS. Toutefois, le recours à une station unique limite la portée des résultats et leur représentativité spatiale et temporelle. Ce point pourra être amélioré à l'avenir par la mise en œuvre récente d'une nouvelle station urbaine de mesure de fond.

La disponibilité des données sanitaires est également satisfaisante, bien que leur exhaustivité et leur précision ne soient pas optimales.

C) Relations exposition/risque

Les recherches bibliographiques quant à la disponibilité de relations exposition/risque ont fourni des renseignements intéressants sans toutefois permettre de conclure de façon définitive vis-à-vis de l'applicabilité locale de modèles particuliers. Les difficultés méthodologiques et les incertitudes liées à cet aspect particulier ont été exposées. En première approche, les modèles alternatifs proposés peuvent être utilisés mais ne doivent pas être présentés sans les réserves dont ils font l'objet. Ainsi, les relations les plus indiquées, car plus valides, pour une quantification de l'impact sanitaire à Saint Denis de la Réunion sont celles issues d'études australiennes réalisées à Brisbane^{45,46}. Les relations classiquement utilisées en Europe ont cependant permis de qualifier les incertitudes.

D) Estimation de l'impact et de sa variabilité

Les calculs réalisés à titre indicatif dans cette étude ont permis de quantifier l'ordre de grandeur de l'impact sanitaire attribuable à la pollution atmosphérique au niveau local. La variabilité de cet impact suivant l'estimateur de risque choisi a également été étudiée.

En dépit des incertitudes existantes, les résultats obtenus montrent que l'impact de la pollution atmosphérique sur la mortalité totale est non négligeable. Les impacts sur la morbidité, suivant l'indicateur, sont plus hétérogènes. Cependant, l'impact sur la morbidité respiratoire, en particulier des personnes âgées, est important.

5.2 Conclusions

D'un point de vue strictement méthodologique, toutes les données requises pour une EIS-PA sont disponibles et valides, pour la zone urbaine de l'agglomération de Saint Denis. La conduite d'une telle évaluation est donc possible pour ce secteur déterminé. L'application de la méthodologie avec des relations « adaptées » permet d'obtenir des ordres de grandeur de l'impact sanitaire attribuable à la pollution atmosphérique. Ces premiers éléments doivent s'inscrire dans les enjeux liés à la mise en place du PRQA, afin d'apporter des arguments fondés sur des critères de santé publique pour la gestion à long terme de la qualité de l'air.

Néanmoins, les nombreuses incertitudes, en particulier vis-à-vis de la représentativité des estimateurs de risque disponibles, limitent l'interprétation des résultats. En outre, la connaissance de la qualité de l'air sur la zone d'étude est perfectible. Par conséquent, la réalisation d'une évaluation d'impact sanitaire complète apparaît pour le moment prématurée, dans le sens où elle n'apportera certainement pas d'éléments décisifs nouveaux par rapport à cette étude de faisabilité. Les éléments fournis par cette première approche peuvent d'ores et déjà être utilisés.

5.3 Perspectives

5.3.1 Surveillance de la qualité de l'air

Les données de la nouvelle station de surveillance de l'ORA seront bientôt disponibles et validées. Leur utilisation permettra d'affiner la connaissance de la pollution urbaine de fond. L'emplacement de cette station, choisi en fonction des campagnes réalisées est *a priori* représentatif de la qualité moyenne de l'air en centre-ville.

Compte tenu de la problématique locale de la pollution très liée au trafic il semble indiqué d'envisager la mise en place de stations de surveillance en proximité du trafic. Les

mesures de telles stations ne seront pas utilisables dans le cadre d'une EIS mais peuvent permettre de travailler sur d'autres problématiques (*Voir ci-après*).

Par ailleurs, des travaux complémentaires doivent être menés sur la représentativité des indicateurs de pollution par rapport au mélange atmosphérique local et leurs mécanismes de formation ; ce afin de pouvoir les comparer de façon fiable avec les indicateurs mesurés ailleurs et en particulier en métropole. Cette recommandation vaut particulièrement en ce qui concerne la composition de la pollution particulaire dont l'analyse est prévue prochainement par l'ORA. Cet aspect va de pair avec la nécessaire mise en place d'un réseau de mesure et d'analyse des pollens afin de pouvoir étudier plus avant la composition de ces pollens de développer les connaissances sur leurs composantes allergène, et leurs interactions éventuelles avec les polluants chimiques.

5.3.2 Evaluation des impacts sanitaires

Pour tenir compte de la problématique locale des pics de pollution, certaines méthodes semblent peuvent se substituer à l'EIS. Une solution alternative pourrait ainsi être la mise en place d'une évaluation quantitative des risques sanitaires (EQRS) liées aux sources ponctuelles ou linéaires identifiées dans une agglomération donnée. Bien que de nature différente les résultats ainsi obtenus seraient particulièrement intéressants pour la mise en place des différents plans prévus par la loi sur l'air. Il serait ainsi possible d'établir les risques spécifiques liés aux émissions atmosphériques des sources sélectionnées. Cela pourrait apporter des arguments en termes de santé publique pour les décisions de gestion de la qualité de l'air (objectifs à fixer) et les projets d'infrastructures de transport.

Outre la problématique du trafic, préoccupante dans les agglomérations, des démarches peuvent également être envisagées pour étudier des questions plus spécifiques à la Réunion. Ainsi les risques sanitaires liés aux émissions industrielles (de centrales thermiques notamment), aux émissions volcaniques, ou encore aux pratiques de brûlage agricoles devraient être évalués.

A un autre niveau, la mise en place d'une étude épidémiologique multicentrique entre les agglomérations des DOM-TOM (présentant un climat tropical) pourrait permettre d'établir des estimateurs de risques fiables concernant l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique. Ce travail, en tenant compte des spécificités locales, pourrait également être intéressant dans un cadre international où le manque de données scientifiques quant à la qualité de l'air en milieu tropical est une réalité préoccupante⁵².

CONCLUSION

Face à la menace sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine, la Réunion doit, comme les autres régions françaises, adopter une stratégie de planification faisant appel notamment à des critères de santé publique. Dans cette optique, la réalisation d'une évaluation d'impact sanitaire (EIS) selon la méthodologie nationale doit satisfaire certaines conditions.

Ces conditions concernent en particulier l'identification précise des principales zones d'exposition et des populations susceptibles d'être exposées, et le choix de modèles d'estimation du risque adaptés au contexte local. Les travaux menés dans cette étude, à partir des données locales et de la littérature épidémiologique internationale, abordent la faisabilité d'une EIS à la Réunion. Ces réflexions ont permis d'identifier, de qualifier, voire de quantifier les principales incertitudes et de déterminer le cadre d'une telle étude. Une première approche de l'impact sanitaire concerné et de sa variabilité a également été effectuée.

Compte tenu de ces premiers éléments, la mise en œuvre d'une EIS n'est pas recommandée dans l'immédiat à la Réunion. On peut en effet utiliser dans un premier temps les ordres de grandeur et les éléments fournis par cette étude de faisabilité. A l'avenir, l'amélioration progressive des connaissances locales et internationales doit cependant permettre la mise en œuvre complète d'une EIS à la Réunion, afin de guider la définition d'objectifs de qualité de l'air, sur la base de critères sanitaires.

La réalisation de ce mémoire a par ailleurs permis de sensibiliser les différents acteurs concernés par une telle démarche et d'apporter des éléments déterminants pour l'évaluation des effets sur la santé de la pollution atmosphérique urbaine à la Réunion.

Dans ce domaine, l'ensemble des actions doit découler d'une dynamique locale impliquant tous les acteurs locaux concernés par la gestion de la qualité de l'air. La mise en place du PRQA de la Réunion, constitue à ce titre un enjeu majeur et rassembleur.

Bibliographie

- ¹ HAUT COMITE A LA SANTE PUBLIQUE, Ministère de l'emploi et de la solidarité *Politiques publiques, pollution atmosphérique et santé. Poursuivre la réduction des risques*. Paris, Editions ENSP, Juin 2000 : 1-263.
- ² CHARPIN D., GAUDIN JC., *L'air et la santé*, Flammarion Médecine-Sciences, Mai 2004, ISBN 2-257-15279-4. Chapitre 15, Pollution atmosphérique extérieure et santé respiratoire, par W. DAB, pp. 145-147. Chapitre 25, Evaluation des risques de la pollution de l'air pour la santé publique par P. GLORENNEC, pp 283-293.
- ³ Loi n°96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie. *Journal Officiel de la République Française 1er janvier 1997*.
- ⁴ PLAN NATIONAL SANTE ENVIRONNEMENT, Rapport final de la commission d'orientation[en ligne], [25/07/2004]. Disponible sur Internet : http://www.afsse.fr/PNSE/Rapport_Final_PNSE.php.
- ⁵ GLORENNEC P., QUENEL P., NOURY L. *et al.*, Evaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine : guide méthodologique. Institut de veille sanitaire, Saint-Maurice, juillet 1999 ; 48 pages.
- ⁶ PASCAL L., CASSADOU S. *et al.* Evaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine : actualisation du guide méthodologique. Institut de veille sanitaire, Saint-Maurice, mars 2003 ; 31 pages.
- ⁷ KÜNSTLI N., KAISER R., MEDINA S. *et al.* Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. *Lancet* 2000, 356, pp. 795-801.
- ⁸ ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE. Pollution de l'air, Aide-mémoire n° 187, [en ligne] , [04/05/05] Disponible sur Internet : <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs187/fr/>
- ⁹ WORLD HEALTH ORGANIZATION, *Air quality guidelines for Europe ; second edition*,[en ligne] WHO regional publications. European series ; No. 91, 288p., [11/07/05], Disponible sur Internet : http://www.euro.who.int/air/activities/20050223_4
- ¹⁰ INSEE REUNION, *La Réunion en bref* , [en ligne], [03/05/05]. Disponible sur Internet : http://www.insee.fr/fr/insee_regions/reunion/rfc/Histoire_Reunion.htm
- ¹¹ SOLER O., *Atlas climatique de la Réunion*, Bureau d'étude climatologique, Direction Interrégionale de La Réunion, Météo France , Août 1997, 80p. [en ligne], [07/06/05]. Disponible sur Internet : http://www.meteo.fr/temps/domtom/La_Reunion/#
- ¹² INSEE REUNION, *Tableau Economique de la Réunion*, Edition 2004-2005
- ¹³ PARPALEIX J., Etat des lieux et réflexions préalables à l'élaboration du Plan Régional pour la Qualité de l'Air de La Réunion, Rapport de stage DESS SGET, Université de la Réunion, Observatoire Réunionnais de l'Air, 101 pages.
- ¹⁴ OBSERVATOIRE REUNIONNAIS DE L'AIR, *Programme de Surveillance de la Qualité de l'Air, Rapport provisoire*, Juillet 2004, 86 p.
- ¹⁵ Décret n° 98-361 du 6 mai 1998 relatif à l'agrément des organismes de surveillance de la qualité de l'air, *Journal Officiel de la République Française du 13 mai 1998*
- ¹⁶ CITEPA, *Inventaires d'émission dans l'atmosphère dans le cadre des plans régionaux pour la qualité de l'air*, octobre 1997
- ¹⁷ CITEPA, Emissions dans l'air en France, Outre-mer, Substances impliquées dans les phénomènes d'acidification, de photochimie et d'effet de serre, Mise à jour du 21 juin 2000, [en ligne] p. 15-18, [21/07/05]. Disponible sur Internet : http://www.citepa.org/emissions/regionale/outre_mer/Emissions_FRdt.pdf, p. 15-18

-
- ¹⁸ CITEPA, *Inventaire des émissions par les grandes installations de combustion en France en application des directives européennes 88/609/CEE et 2001/80/CE*, décembre 2004, [en ligne], [21/07/05]. Disponible sur Internet : <http://www.citepa.org/publications/gic2003-synthese.pdf>.
- ¹⁹ DRIRE REUNION, *Vivre avec l'Industrie à la Réunion en 2003*, 32 pages
- ²⁰ ADEME Délégation Régionale Réunion, *Etude sur les véhicules et les carburants alternatifs, Rapport Final*, Août 2002, BCEOM pour l'ADEME, 104 pages.
- ²¹ BHUGWANT C., SIEJA B., PERRON L. *et al.*, Impact régional du dioxyde de soufre d'origine volcanique induit par l'éruption du Piton de la Fournaise (Ile de La Réunion) en juin – juillet 2001, *Pollution atmosphérique*, n° 176, Oct. – déc. 2002, pp. 527-539,
- ²² LONGO B. , GRUNDER A. , CHUAN R. *et al.*, SO₂ and fine aerosol dispersion from the Kilauea plume, Kau district, Hawaii, USA, *Geology : (Boulder)*, 2005 , vol. 33 , n° 3 , pp. 217 – 220. Présentation disponible [en ligne], [08/05/05]. Disponible sur Internet : <http://oregonstate.edu/dept/ncs/newsarch/2005/Feb05/volcano.htm>
- ²³ MICHEL LEROND CONSULTANT ENVIRONNEMENT, *Qualité de l'air de l'île de La Réunion Première approche*, prestation effectuée pour la DDASS de la Réunion et l'ORS de la Réunion, février 1998, 97 pages.
- ²⁴ MEDD, *L'évolution de la qualité de l'air en France, Bilan 1997-2003*, [en ligne], [21/07/05]. Disponible sur Internet : http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/xls/Bilan_1997-2003_.xls
- ²⁵ DALLEAU N., Variabilité de la concentration des aérosols et des gaz traces en zones urbaines tropicales marines à La Réunion : Etude comparative avec des régions littorales de métropole, Observatoire Réunionnais de l'Air, 2001
- ²⁶ HUET C., Variabilité du NO₂ et des hydrocarbures sur le territoire de La Réunion : étude corrélative avec la météorologie, le trafic et la démographie, Observatoire Réunionnais de l'Air, 2001
- ²⁷ BHUGWANT C., HOAREAU J.-L., Variability of NO₂ in different environments at a moderately polluted island over the southwestern Indian Ocean, *Atmospheric Research*, 66 (2003), pp. 241-259.
- ²⁸ BHUGWANT C., RIVIERE E., KECKHUT P. *et al.*, Variability of carbonaceous aerosols, ozone and radon at Piton Textor, a mountain site on Réunion island (south-western Indian Ocean). *Tellus B*, 2001, 53 (5), pp. 546-563.
- ²⁹ RESEAU NATIONAL DE SANTE PUBLIQUE, *Evaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique : une démarche d'analyse de risque pour les plans régionaux de la qualité de l'air*. Réseau National de Santé Publique, Saint-Maurice, juin 1998; 16 pages.
- ³⁰ WHO Regional Office for Europe. Evaluation and use of epidemiological evidence for environmental health risk assessment. *Environmental Health Perspective*, 2000; 108: pp. 997-1002.
- ³¹ WHO Regional Office for Europe. *Quantification of the health effects of exposure to air pollution*. European Centre for Environment and Health, Copenhagen, october 2001; 38 pages.
- ³² CASSADOU S., DECLERCQ C., EILSTEIN D. *et al.* Programme de surveillance Air et Santé (9 villes). Surveillance des effets sur la santé liés à la pollution atmosphérique en milieu urbain - Phase II. Rapport d'étude. Institut de veille sanitaire. Juin 2002. 184 pages.
- ³³ INSTITUT NATIONAL DE VEILLE SANITAIRE, *Surveillance des effets sur la santé liés à la pollution atmosphérique en milieu urbain : rapport de l'étude*. Institut de veille sanitaire. Saint-Maurice, mars 1999;148 pages.
- ³⁴ CASSADOU S., QUENEL P., ZEGHNOUN A. *et al.*, Impact sanitaire de la pollution atmosphérique : des questions et des réponses. Réponse à l'éditorial de Jacques Estève, *Environnement, Risques & Santé*. Mars 2003 Volume 2, Numéro 2, 85-88
- ³⁵ CASSADOU S., QUENEL P., ZEGHNOUN A. *et al.*, Evaluation d'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine : nouveaux résultats sur neuf villes françaises et utilité en santé publique, *Environnement, Risques & Santé*. Janvier-Février 2003, Volume 2, Numéro 1, pp. 19-25.
- ³⁶ D'HELF M., CASSADOU S. *et al.* Bilan des Plans régionaux pour la qualité de l'air: Prise en compte des aspects sanitaire et Bilan des études d'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine réalisées, Institut de veille sanitaire, Saint-Maurice, 2004, 68 pages.

-
- ³⁷ BRUNEKREEF B., HOLGATE S., Air pollution and Health, Review, *Lancet*, 2002; n°360, pp. 1233-42.
- ³⁸ FILLEUL, MEDINA S., CASSADOU S. *et al.* La pollution atmosphérique urbaine : de l'épidémiologie à l'impact sanitaire en santé publique. *Revue d'Epidémiologie et de Santé Publique*, Oct 2003, Vol 51, n°5.
- ³⁹ INSEE REUNION, Base de données «Contours... Iris » à partir du recensement de 1999, [CD-ROM].
- ⁴⁰ AGENCE POUR L'OBSERVATION DE LA REUNION, L'AMENAGEMENT ET L'HABITAT *Observatoire des Transports et Déplacements 2002*, [CD-ROM], synthèse disponible [en ligne], [18/05/2005]. Disponible sur Internet : http://www.agorah.com/data/synth/syn_obs_trans_depl.pdf.
- ⁴¹ KRZYZANOWSKI M., Methods for assessing the extent of exposure and effects of air pollution. *Occupation Environmental Medicine*, 1997; n°54, pp. 145-151.
- ⁴² WHO Regional Office for Europe, *Health aspects of air pollution with particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. Report on a WHO working group.* [en ligne] Copenhagen, 2003 (document EUR/03/5042688)[22/07/05]. Disponible sur internet : <http://www.euro.who.int/document/e79097.pdf>.
- ⁴³ WONG TW, LAU TS, YU TS, *et al.* Air pollution and hospital admissions for respiratory and cardiovascular diseases in Hong Kong. *Occup Environ Med*, 1999, n° 56, pp.679–683.
- ⁴⁴ WONG CM, MA S, HEDLEY AJ *et al.*, Effect of air pollution on daily mortality in Hong Kong, Dept. of Community Medicine, University of Hong Kong, China. *Environ Health Perspect*, Apr 2001; n°109, pp. 335-40.
- ⁴⁵ PETROESCHEVSKY A., SIMPSON RW., THALIB L. *et al.*, Associations between outdoor air pollution and hospital admissions in Brisbane, Australia. *Arch Environ Health.*, Jan-Feb 2001, n° 56(1), pp. 37-52.
- ⁴⁶ SIMPSON RW., WILLIAMS G., PETROESCHEVSKY A., *et al.*, Associations between outdoor air pollution and daily mortality in Brisbane, Australia. *Arch Environ Health.* Nov-Dec 1997; n°52(6), pp. 442-54.
- ⁴⁷ AUNAN K., PAN XC., Exposure-response functions for health effects of ambient air pollution applicable for China – a meta-analysis, *Science of the total environment*, 2004, n° 329, pp 3-16.
- ⁴⁸ VICHIT-VADAKAN, OSTRO B.D., CHESTNUT LG., Air pollution and respiratory symptoms : Results from three panel studies in Bangkok, Thailand, *Environmental Health Perspectives*, June 2001, vol 109, Supl 3, pp. 381-387.
- ⁴⁹ SOLET J.-L., CATTEAU C., NARTZ E., *et al.* Epidémiologie de l'asthme à La Réunion : analyse de la mortalité (1990-1998) et de la morbidité hospitalière (1998-2002), Cire Réunion Mayotte, Validé par l'InVS, *non publié*.
- ⁵⁰ LAAIDI M. et K., BESANCENOT J.-P., Synergie entre pollens et polluants chimiques de l'air : les risques croisés, *Environnement, Risques & Santé* 2002/03, vol 1, n°1.
- ⁵¹ WONG CM., ATKINSON R.W., ANDERSON H.R. *et al.*, A tale of two cities : Effects of Air Pollution on Hospital Admissions in Hong Kong and London compared, *Environmental Health Perspectives* Volume 110, Number 1, January 2002, pp 67-77.
- ⁵² MARTUZZI M., KRZYZANOWSKI M., BERTOLLINI R., Health impact assessment of air pollution : providing further evidence for public health action, *Eur Respir J* 2003 ; 21 : Suppl 40, pp.86s-91s.

Principaux sites Internet utilisés

Cités dans le rapport :

- Portail de l'union européenne (Europa), page législation : <http://europa.eu.int/scadplus/leg/fr/lvb/l28031a.htm>
- Fichier National des Etablissements Sanitaires et Sociaux : <http://finess.sante.gouv.fr/finess/index.html>
- IGN, base de données orthophotographique : <http://www.ign.fr/telechargement/MPro/plaquettes/bdortho.pdf>
- INSEE REUNION: http://www.insee.fr/fr/insee_regions/reunion/home/home_page.asp
- Agence Régionale d'Hospitalisation Réunion-Mayotte : <http://www.parhtage.sante.fr/re7%5Creu/site.nsf/homepage?OpenFrameSet>
- Météo France : Climats du monde : <http://www.meteo.fr/temps/monde/climats/3-2.htm>

Non cités :

- Airparif : <http://www.airparif.asso.fr/index.php>
- Atmo Auvergne : <http://www.atmoauvergne.asso.fr/>
- Base de données bibliographiques en ligne PubMed : <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi>
- Catalogue bibliographique de l'ENSP <http://www.ensp.fr/doc/default.htm>
- Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement de la Réunion : <http://www.reunion.drيره.gouv.fr/>
- Editions John Libbey Eurotext : http://www.john-libbey-eurotext.fr/fr/revues/sante_pub/ers/sommaire.md
- Health Effects Institute : <http://www.healtheffects.org/>
- Institut de l'Information Scientifique et Technique : http://www.inist.fr/index_fr.php
- Institut National de Veille Sanitaire : <http://www.invs.sante.fr/>
- Observatoire Réunionnais de l'Air : <http://www.atmo-reunion.net/default.htm>
- Réseau d'Echanges en Santé et Environnement : <http://rese.sante.gouv.fr/>
- U.S. Environmental Protection Agency : <http://www.epa.gov/>

Liste des tableaux

Tableau 1 Evolution du parc automobile au 1er Janvier	13
Tableau 2 Stations fixes de mesures de la qualité de l'air sur la zone d'étude.....	28
Tableau 3: Comparaison des paramètres météorologiques de l'année tropique 2001-2002 avec ceux de 1975-2004	31
Tableau 4: Distribution des concentrations journalières moyenne en ozone (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) en fonction du site de mesure, 2001-2002.....	32
Tableau 5 Distribution des indicateurs de pollution hors ozone, Saint Denis, 2001-2002.	33
Tableau 6 Indicateurs de pollution à l'ozone, 2001-2002	33
Tableau 7 Nombre de décès sur la zone d'étude par type de causes	35
Tableau 8 Etablissements sanitaires visés par l'étude	36
Tableau 9 Admissions hospitalières à Saint-Denis (patients résidant sur la commune de Saint Denis), 2001-2002.....	36
Tableau 10 Hiérarchisation estimée et quantification partielle des incertitudes (par ordre décroissant d'importance).....	50

Liste des figures

Figure 1 Evolution des principaux rejets atmosphériques industriels à la Réunion (**Source: DRIRE**)
p. 16

Figure 2 Trafic sur le réseau structurant (RN1, RN2, RN3) et RN5 **Source: DDE** p. 16

Figure 3 Impact d'un feu de canne sur la qualité de l'air à proximité **Source: ORA** p.17

Figure 4 Le modèle de l'EIS (d'après Kunzli) **Source : 7** p24

Figure 5 Zone d'étude pour une EIS à Saint Denis **Sources : IGN, INSEE, ORA** p. 31

Figure 6 Station de surveillance de la qualité de l'air "Lislet Geoffroy" **Source: ORA** p. 33

Figure 7 Graphes de variation de l'impact suivant le choix de la relation exposition risque (principaux résultats), p.44

Figure 8 Liens entre pollution atmosphérique et santé?, p.47

Figure 9 Toute la problématique de la mesure de l'exposition... **Source : inconnue** p.49

Liste des annexes

Annexe 1: Seuils et valeurs réglementaires+valeurs OMS

Annexe 2: Le contexte Réunionnais

Annexe 3: Réseau de surveillance de la qualité de l'air à la Réunion

Annexe 4 : Calendrier pollinique de la Réunion

Annexe 5 : Calcul du nombre de cas attribuables à la pollution atmosphérique

Annexe 6 : Démarche pour l'extraction des données sanitaires d'admissions hospitalières.

Annexe 7 : Caractéristiques de la zone d'étude

Annexe 8 : Campagnes de mesure par laboratoire mobile

Annexe 9 : Période d'étude

Annexe 10 : Météorologie sur la zone d'étude

Annexe 11 : Comparaison des zones d'étude

Annexe 12 : Evaluation de l'impact sanitaire et de sa variabilité (résultats)

Annexe 1: Seuils et valeurs réglementaires + valeurs OMS

Les recommandations de l'OMS

(Source : Airparif, sur http://www.airparif.asso.fr/page.php?article=normes_oms&rubrique=normes)

Valeurs guides de la qualité de l'air de l'Organisation Mondiale de la Santé (critères 1999). Source : *GUIDELINES FOR AIR QUALITY, WHO, Geneva 2000.*

Les valeurs sont en microgrammes par mètre cube d'air.

Polluants	Durée d'exposition						Année	UR Vie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹
	10-15 mn	30 mn	1 heure	8 heures	24 heures	Semaine		
Dioxyde de soufre	500				125		50	
Particules (FN)	Pas de valeur guide disponible							
Particules (PM10)	Les connaissances actuelles ne permettent pas de déterminer une concentration en dessous de laquelle aucun effet n'est observé							
Monoxyde d'azote	Pas de valeur guide disponible							
Dioxyde d'azote			200				40	
Monoxyde de carbone	100 000	60 000	30 000	10 000				
Plomb							0,5	
Ozone				120				
Benzène					120			6×10^{-6}
Toluène						260		
Xylène					4800			
Ethylbenzène							22000	
Benzo(a)anthracène								$1,2 \times 10^{-4}$ à 13×10^{-4}
Benzo(a)pyrène								$8,7 \times 10^{-2}$
Benzo(b)fluoranthène								$0,87 \times 10^{-2}$ à $1,2 \times 10^{-2}$
Benzo(k)fluoranthène								$8,7 \times 10^{-4}$ à 87×10^{-4}
Fluoranthène								$8,7 \times 10^{-5}$ à 87×10^{-5}
Indéno(1,2,3-c,d)pyrène								$5,8 \times 10^{-3}$ à $20,2 \times 10^{-3}$
Dibenzo(ah)anthracène								$7,7 \times 10^{-2}$ à $43,5 \times 10^{-2}$
Acétaldéhyde								$1,5 \times 10^{-7}$ à 9×10^{-7}

UR Vie : risque additionnel de développer un cancer (dont le type dépend du composé) au cours d'une vie (soit 70 ans), pour une population hypothétiquement exposée continuellement à une concentration de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ du composé considéré dans l'air respiré.

Les directives européennes

(Source : Airparif, sur http://www.airparif.asso.fr/page.php?article=normes_europe&rubrique=normes)

D'après les directives européennes, du **22 avril 1999** relative à la fixation de valeurs limites pour l'anhydride sulfureux, le dioxyde d'azote et les oxydes d'azote, les particules et le plomb dans l'air ambiant, et du **16 novembre 2000** concernant les valeurs limites pour le benzène et le monoxyde de carbone dans l'air ambiant. Les principales valeurs existantes sont fournies dans le tableau ci-dessous.

	Valeurs limites	Seuil d'alerte
NO₂	<p>En moyenne annuelle :</p> <p>2004 : 52 µg/m³, décroissant linéairement au cours du temps. 2010 : 40 µg/m³.</p> <p>En moyenne horaire :</p> <p>2004 : 18 dépassements de 260 µg/m³ (décroissant linéairement au cours du temps) au maximum. Jusqu'en 2010 : 200 µg/m³ à ne pas dépasser plus de 2 % du temps. 2010 : 18 dépassements de 200 µg/m³ au maximum.</p>	400 µg/m ³ en moyenne horaire sur 3 heures consécutives.
NO_x	En moyenne annuelle (équivalent NO ₂) : 30 µg/m ³ (protection de la végétation).	
SO₂	<p>Année civile (1/1 au 31/12) : En moyenne annuelle (pour les écosystèmes) : 20 µg/m³.</p> <p>En moyenne journalière :</p> <p>2000-2005 : 3 dépassements de 125 µg/m³ au maximum.</p> <p>En moyenne horaire :</p> <p>2004 : 24 dépassements de 380 µg/m³ (décroissant linéairement au cours du temps) au maximum. 2005 : 24 dépassements de 350 µg/m³ au maximum.</p> <p>Année tropique (1/4 au 31/3) : En moyenne journalière jusqu'en 2004 : 250 µg/m³ à ne pas dépasser plus de 2 % du temps. 80 µg/m³ à ne pas dépasser plus de 50 % du temps.</p> <p>Hiver (1/10 au 31/3) : En moyenne hivernale (pour les écosystèmes) : 20 µg/m³.</p> <p>En moyenne journalière jusqu'en 2004 : 130 µg/m³ à ne pas dépasser plus de 50 % du temps.</p>	500 µg/m ³ en moyenne horaire sur 3 heures consécutives.
Plomb	En moyenne annuelle 2004 : 0,6 µg/m ³ , décroissant linéairement au cours du temps. 2005 : 0,5 µg/m ³ .	
Fumées Noires	<p>Année tropique (1/4 au 31/3) : En moyenne journalière jusqu'en 2004 : 250 µg/m³ à ne pas dépasser plus de 2 % du temps. 80 µg/m³ à ne pas dépasser plus de 50 % du temps.</p> <p>Hiver (1/10 au 31/3) : En moyenne journalière jusqu'en 2004 : 130 µg/m³ à ne pas dépasser plus de 50 % du temps.</p>	
PM10 (Particules fines de diamètre inférieur ou	En moyenne annuelle : 2004 : 41,6 µg/m ³ , décroissant linéairement au cours du temps. 2005 : 40 µg/m ³ . 2010 : 20 µg/m ³ .	

égal à 10 micromètres)	En moyenne journalière : 2004 : 35 dépassements de 55 µg/m ³ au maximum. 2005 : 35 dépassements de 50 µg/m ³ au maximum. 2010 : 7 dépassements de 50 µg/m ³ au maximum.	
CO	En moyenne sur 8 heures : 2004 : 12 000 µg/m ³ , décroissant linéairement au cours du temps. 2005 : 10 000 µg/m ³ .	
Benzène	En moyenne annuelle 2001-2005 : 10 µg/m ³ , décroissant linéairement au cours du temps. 2010 : 5 µg/m ³ .	

D'après la directive européenne du **12 février 2002** relative à l'ozone dans l'air ambiant. Les principales valeurs existantes sont fournies dans le tableau ci-dessous.

	Valeurs cibles	Objectifs à long terme	Seuil d'information	Seuil d'alerte
O ₃	<p>Pour la protection de la santé : En moyenne sur 8 heures : 120 µg/m³, à ne pas dépasser plus de 25 jours par an (moyenne calculée sur 3 ans).</p> <p>Pour la protection de la végétation : AOT 40* de mai à juillet de 8h à 20h : 18 000 µg/m³/h (moyenne calculée sur 5 ans).</p>	<p>Pour la protection de la santé : En moyenne sur 8 heures : 120 µg/m³.</p> <p>Pour la protection de la végétation : AOT 40* de mai à juillet de 8h à 20h : 6 000 µg/m³/h.</p>	180 µg/m ³ en moyenne horaire.	<p>Information : 240 µg/m³ en moyenne horaire</p> <p>Actions obligatoires : 240 µg/m³ pendant 3 heures consécutives</p>

* AOT 40 (exprimé en µg/m³ par heure) signifie la somme des différences entre les concentrations horaires supérieures à 80 µg/m³ (= 40 ppb ou partie par milliard) et 80 µg/m³ durant une période donnée en utilisant uniquement les valeurs sur 1 heure mesurées quotidiennement entre 8 heures et 20 heures.

Les critères nationaux de qualité de l'air

(Source : Airparif, <http://www.airparif.asso.fr/page.php?article=normes&rubrique=normes>)

Les critères nationaux de qualité de l'air résultent du décret, n°2002-213, du **15 février 2002** relatif à la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et sur l'environnement, aux objectifs de qualité de l'air, aux seuils d'alerte et aux valeurs limites et du décret, n°2003-1085, du **12 novembre 2003** portant transposition de la directive 2002/3/CE du Parlement européen et du Conseil du 12 février 2002 et modifiant le décret n° 98-360 du 6 mai 1998 relatif à la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et sur l'environnement, aux objectifs de qualité de l'air, aux seuils d'alerte et aux valeurs limites.

Les principales valeurs existantes sont fournies dans le tableau ci-dessous.

	Valeurs limites	Objectifs de qualité	Seuil de recommandation et d'information	Seuils d'alerte
NO ₂	<p>En moyenne annuelle : 2004 : 52 µg/m³, <u>décroissant linéairement</u> au cours du temps. 2010 : 40 µg/m³.</p> <p>En moyenne horaire : 2004 : 260 µg/m³ (<u>décroissant linéairement</u> au cours du temps) à ne pas dépasser plus de 0.2 % du</p>	En moyenne annuelle : 40 µg/m ³ .	200 µg/m ³ en moyenne horaire.	<p>400 µg/m³ en moyenne horaire.</p> <p>200 µg/m³ en moyenne horaire si dépassement de ce seuil la veille, et risque de dépassement de ce seuil le lendemain.</p>

	<p>temps. Jusqu'au 31 décembre 2009 : 200 µg/m³ à ne pas dépasser plus de 2 % du temps. 2010 : 200 µg/m³ à ne pas dépasser plus de 0,2 % du temps.</p>			
NOx	<p>En moyenne annuelle (équivalent NO2) : 30 µg/m³ (protection de la végétation).</p>			
SO₂	<p>En moyenne annuelle (pour les écosystèmes) : 20 µg/m³. En moyenne journalière : 125 µg/m³ à ne pas dépasser plus de 0,8 % du temps. En moyenne horaire : 2004 : 380 µg/m³ (décroissant linéairement au cours du temps) à ne pas dépasser plus de 0,3 % du temps. 2005 : 350 µg/m³ à ne pas dépasser plus de 0,3 % du temps. En moyenne hivernale (pour les écosystèmes) : 20 µg/m³.</p>	<p>En moyenne annuelle : 50 µg/m³.</p>	<p>300 µg/m³ en moyenne horaire.</p>	<p>500 µg/m³ en moyenne horaire sur 3 heures consécutives.</p>
Plomb	<p>En moyenne annuelle 2001 : 0,8 µg/m³. 2004 : 0,5 µg/m³.</p>	<p>En moyenne annuelle : 0,25 µg/m³.</p>		
PM10	<p>En moyenne annuelle : 2004 : 41 µg/m³, décroissant linéairement au cours du temps. 2005 : 40 µg/m³. En moyenne journalière : 2004 : 55 µg/m³ (décroissant linéairement au cours du temps) à ne pas dépasser plus de 9,6 % du temps. 2005 : 50 µg/m³ à ne pas dépasser plus de 9,6 % du temps.</p>	<p>En moyenne annuelle : 30 µg/m³.</p>		
CO	<p>En moyenne sur 8 heures : 10 000 µg/m³.</p>			
Benzène	<p>En moyenne annuelle 2001-2005 : 10 µg/m³, décroissant linéairement de 2005 à 2010 2010 : 5 µg/m³.</p>	<p>En moyenne annuelle : 2 µg/m³.</p>		
O₃		<p>Seuil de protection de la santé : En moyenne sur 8 heures : 110 µg/m³. Seuil de protection de la végétation : En moyenne sur 24 heures : 65 µg/m³. En moyenne horaire : 200 µg/m³.</p>	<p>180 µg/m³ en moyenne horaire.</p>	<p>1er seuil : 240 µg/m³ en moyenne horaire dépassé pendant trois heures consécutives ; 2e seuil : 300 µg/m³ en moyenne horaire dépassé pendant trois heures consécutives ; 3e seuil : 360 µg/m³ en moyenne horaire.</p>

Terminologie

(Source : Airparif, <http://www.airparif.asso.fr/page.php?article=normes&rubrique=normes>)

- **valeur limite** : niveau fixé sur la base de connaissances scientifiques, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine et/ou l'environnement dans son ensemble, à atteindre dans un délai donné et à ne pas dépasser une fois atteint,
- **seuil d'alerte** : niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine et à partir duquel les États membres prennent immédiatement des mesures conformément à la directive 96/62/CE,
- **valeur cible** : niveau fixé dans le but d'éviter à long terme des effets nocifs sur la santé humaine et/ou l'environnement dans son ensemble, à atteindre là où c'est possible sur une période donnée,
- **objectif à long terme** : concentration dans l'air ambiant en dessous de laquelle, selon les connaissances scientifiques actuelles, des effets nocifs directs sur la santé humaine et/ou sur l'environnement dans son ensemble sont peu probables,
- **seuil d'information** : niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine des groupes particulièrement sensibles de la population et à partir duquel des informations actualisées sont nécessaires.

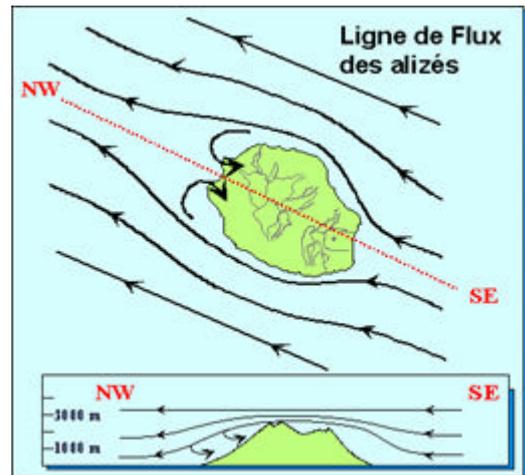
Annexe 2: Le contexte réunionnais

Le climat de la Réunion

(extraits de l'Atlas Climatique de la Réunion , Météo France, 2000, disponible en ligne : <http://www.meteo.fr/temps/domtom/La_Reunion/#>)

Les Alizés

Ce sont des vents réguliers parfois assez forts, soufflant d'Est en Ouest dans les océans tropicaux. Ils sont générés par le gradient qui existe entre les hautes pressions subtropicales et les basses pressions équatoriales. Pour La Réunion, leur direction dominante est l'est-sud-est et leur période d'activité maximale est la saison fraîche, de mai à octobre. Leur structure en altitude se modifie. Il existe une inversion dynamique et thermique très nette, surtout présente en hiver austral. L'air chaud en altitude fait obstacle le plus souvent aux ascendances qui ne peuvent se développer au delà de la couche d'inversion. A La Réunion cette limite se trouve généralement entre 1800 et 3000 mètres d'altitude.



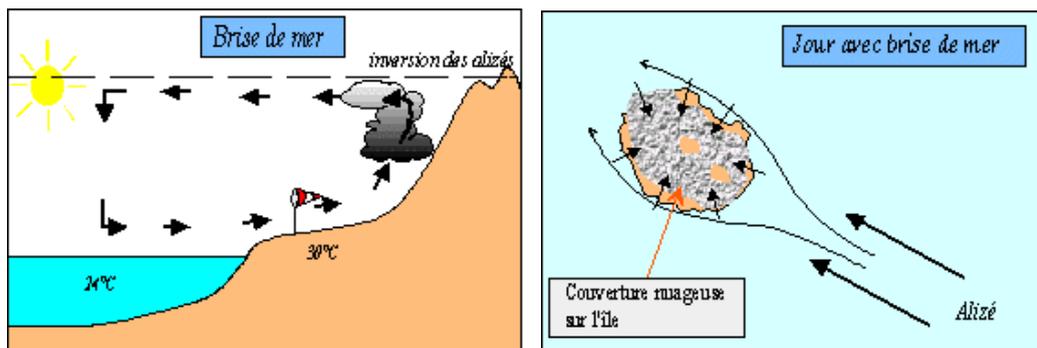
Le climat de la Réunion

Le climat de La Réunion est tropical humide. On distingue deux saisons. L'hiver, de mai à octobre, est la saison « fraîche » ou saison « sèche ». Les températures sont douces et les pluies peu abondantes. Ces dernières restent tout de même importantes sur l'Est. L'été, de novembre à avril, durant lequel les températures sont plus élevées, l'humidité plus forte et les pluies beaucoup plus importantes est la « saison chaude » ou la « saison des pluies ». C'est aussi la période où se forment la plus grande partie des dépressions tropicales. L'amplitude diurne et annuelle des températures pour un lieu donné de l'île est très faible, de 5 à 7°C environ. Ce phénomène est principalement dû à l'effet de volant thermique de la mer, mais aussi à la ventilation venant de l'est, les alizés, qui soufflent une bonne partie de l'année.

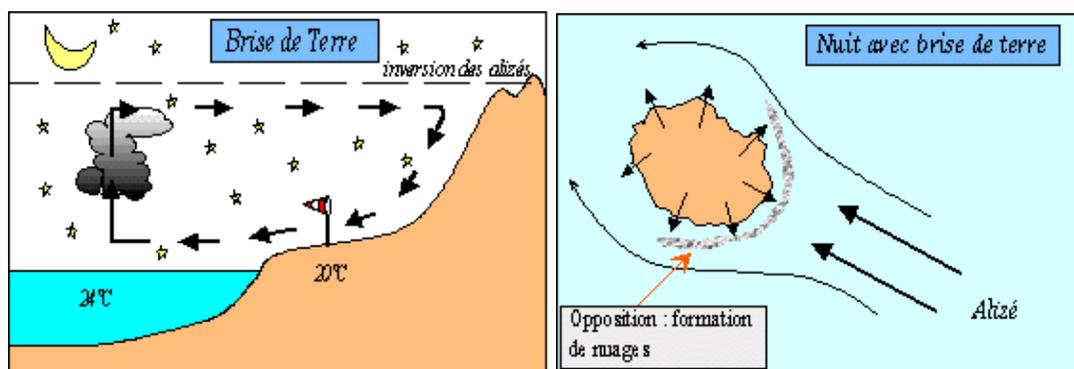
En fait, le climat réunionnais se singularise surtout par ses grandes variabilités liées à la géographie de l'île. La température décroît avec l'altitude. Sur le littoral, les températures moyennes sont toujours assez chaudes variant entre 21°C l'hiver et 26°C l'été. Tandis que dans les hauts, elles sont beaucoup plus fraîches, et ce d'autant plus que l'on s'élève le long des pentes, variant vers 1500 m d'altitude entre 12°C l'hiver et 17°C l'été. Le second contraste concerne la pluviométrie et le vent. On distingue la côte au vent, à l'Est, directement soumise aux alizés, qui présente une pluviométrie très importante quelle que soit la saison. La côte sous le vent, à l'Ouest, protégée par les reliefs de l'île est à l'abri des alizés. Le climat y est beaucoup moins humide, les régimes de brise sont prédominants.

Il apparaît ainsi que l'influence du relief est tout aussi fondamentale que les effets de l'insularité.

Le phénomène de brise



Le phénomène de brise, dans une île montagneuse comme La Réunion, résulte de la conjugaison de deux composantes : les brises « de terre » ou « de mer » et les « brises de pentes ». Les brises « de terre » ou « de mer » sont provoquées par les différences de température existant, de jour comme de nuit, entre la terre et l'océan. La nuit, la terre se refroidit par rayonnement. Sa température devient plus basse que celle de la mer, provoquant l'établissement d'une brise dite « de terre » qui souffle de la terre vers la mer. En journée, le réchauffement du sol inverse le différentiel de température. Le sol devenant plus chaud que la mer, le courant d'air s'inverse et souffle alors de la mer vers la terre; on parle alors de brise « de mer ». Les « brises de pente » sont, quant à elles, provoquées par le relief. Elles remontent les pentes en journée et les descendent la nuit, l'air qui se refroidit au contact du sol (dont la température s'abaisse par rayonnement) s'écoulant alors vers la côte, par simple gravitation. Brises « de mer » ou « de terre » et « brises de pente » jouent dans le même sens, conjuguant leurs effets.



La nuit, leur résultante, pour une île elliptique comme La Réunion, a tendance à créer une large circulation divergente et subsidente qui, en situation non perturbée, favorise la dissipation des nuages. La composante de brise tend d'autre part à rejeter plus au large le flux d'alizé. Dans l'Est, la convergence entre cette composante de brise et l'alizé, provoque la formation de nuages d'averses qui se maintiennent en mer lorsque l'alizé est faible à modéré mais peuvent stationner sur la côte lorsqu'il est plus rapide.

En fin de nuit et début de journée, les brises de terre disparaissent. L'alizé peut de nouveau gagner la côte qui, au vent de l'île, se trouve temporairement balayée par les nuages d'averses formés la nuit à la rencontre des 2 flux. Avec l'établissement et le renforcement progressif de la brise de mer et des brises de pente montantes, les formations nuageuses se développent et se concentrent sur le relief, tandis que l'alizé s'accélère sur la côte au vent. Suivant l'instabilité de la masse d'air, ces nuages pourront ou non occasionner des averses dans les hauts et ce, généralement à partir de la mi-journée. Lorsque l'inversion d'alizé est marquée, ces nuages s'accumulent et s'étalent de manière importante sous celle-ci. Dans l'après-midi, poussés par le vent qui souffle en altitude, ils ont tendance à déborder, éventuellement accompagnés d'averses, vers le littoral sous le vent qui bénéficiait jusqu'alors de conditions privilégiées. En fin d'après-midi et soirée, le sens des brises s'inverse, et le cycle peut recommencer.

Population et économie

(Source : INSEE)

Au 1er janvier 2003, La Réunion compte 27 600 entreprises dont 207 de cinquante salariés et plus. En 2002, l'industrie et la construction offrent 13% des emplois salariés, à part égale avec le commerce. Depuis 1990, le secteur tertiaire absorbe la quasi-totalité des créations d'emplois, tandis que le poids de l'agriculture diminue rapidement se rapprochant de ce qu'il est en métropole. La part des emplois dans les services publics est de 46 %. La culture de la canne à sucre occupe la moitié des superficies agricoles et génère une production industrielle (sucre et rhum) qui représente plus de 60% des exportations locales. En 2002, le tourisme a généré plus de 300 millions d'euros de dépenses sur l'île. Facteurs de développement économique pour l'île, la canne à sucre et le tourisme restent des secteurs privilégiés qui mobilisent de nombreux acteurs et induisent des investissements considérables.

La Réunion demeure un territoire difficile à aménager. Elle bénéficie, au sein de l'Union européenne, du statut de «région ultrapériphérique». Le développement économique et social de l'île s'appuie également sur des dispositifs spécifiques (octroi de mer, spécificités des traitements de la fonction publique, dispositions fiscales particulières...) et sur des politiques volontaristes des gouvernements successifs (lois pour l'Outre-mer)

Annexe 3: Réseau de surveillance de la qualité de l'air à la Réunion

Station	Emplacement	Polluants mesurés	Type de station	Commentaires	
1	Lislet-geoffroy	Cité scolaire du Butor Sainte Clotilde	SO ₂ , NO ₂ , O ₃ , PM10, NOx	Urbaine	Site très bien dégagé Bonne densité de population
2	Montgaillard	Collège Montgaillard Saint Denis	O ₃	Périurbaine	Site très bien dégagé- Bonne densité de population éloigné du trafic routier
3	Joinville	132, Rue Jules Auber Saint Denis	SO ₂ , NO ₂ , O ₃ , PM10, NOx	Urbaine	Site très bien dégagé Bonne densité de population Sous l'influence du trafic
4	La Marine	14, rue de L'Assomption Sainte-Suzanne	SO ₂ , NO ₂ , PM10	Industrielle	Représentative des pollutions induites par des phénomènes de retombées de panaches ou d'accumulation provenant du complexe industriel de Bois Rouge
5	CIRFIM	CIRFIM Avenue Raymond Mondon Le Port	SO ₂ , NO ₂ , PM10, NOx	Industrielle	Représentative des pollutions induites par des phénomènes de retombées de panaches ou d'accumulation provenant du complexe industriel du Port ouest
6	Cambaie	Avenue Piton Batard Saint Paul	SO ₂ , NO ₂ , PM10, NOx	Industrielle	Représentative des pollutions induites par des phénomènes de retombées de panaches ou d'accumulation provenant du complexe industriel du Port ouest
7	EDF	Rue Auguste Lacaussade Le Port	SO ₂ , NO ₂ , PM10, NOx	Industrielle	Représentative des pollutions induites par des phénomènes de retombées de panaches ou d'accumulation provenant du complexe industriel du Port ouest
8	Sainte-Thérèse	Rue Jean Albany Sainte Thérèse La Possession	SO ₂ , NO ₂ , PM10, NOx	Industrielle	Représentative des pollutions induites par des phénomènes de retombées de panaches ou d'accumulation provenant du complexe industriel du Port ouest
9	Laboratoire mobile	Variable	SO ₂ , NO ₂ , CO, O ₃ , PM10, NOx	Variable	Variable
10	Station mobile	Variable	SO ₂ , NO ₂ , CO, O ₃ , PM10, NOx	Variable	Variable

(Source : ORA)

Annexe 5 : Calcul du nombre de cas attribuables à la pollution atmosphérique

(Extraits du guide méthodologique de l'InVS de 1999, [5])

Principes du calcul

Pour une période de temps donnée, la proportion d'événements sanitaires attribuables à un niveau de pollution donné se calcule à partir de la formule suivante :

$$PA = \frac{f(RR - 1)}{1 + f(RR - 1)}$$

où :

- PA est la proportion d'événements sanitaires attribuables au niveau de pollution atmosphérique considéré (e.g. décès, admissions hospitalières etc.) ;
- RR est le risque relatif associé au niveau de pollution étudié ;
- f est la prévalence de l'exposition, c'est à dire la proportion de la population exposée au niveau de pollution considéré.

Dans le cas de la pollution atmosphérique urbaine, toute la population peut être considérée comme étant exposée (en moyenne) au niveau de pollution considéré ($f = 1$) et le nombre de cas attribuables pour la période considérée peut être alors calculé à partir de la formule simplifiée :

$$NA = \frac{RR - 1}{RR} \times N$$

où :

- NA est le nombre de cas attribuables pour la période considérée ;
- N est le nombre moyen d'événements sanitaires au cours de la période considérée.

Dans ces deux formules, la proportion ou le nombre d'événements attribuables sont calculés en référence à un niveau de pollution atmosphérique nul auquel est associé un risque relatif (RR) égal à 1. Cependant, tant d'un point de vue d'évaluation que d'un point de vue décisionnel, le choix d'un niveau de référence de pollution nul n'est pas approprié. En effet, le niveau de base de pollution atmosphérique à l'échelle urbaine n'est pas forcément nul (du fait notamment de la pollution inter-régionale) et un niveau nul de pollution atmosphérique en milieu urbain ne constitue pas, en soi, un objectif raisonnable ou, pour le moins, opérationnel. Le plus souvent, la proportion ou le nombre d'événements attribuables est donc calculé, non pas pour un niveau de pollution donné, mais pour un différentiel de pollution donné. Dans ce cas de figure :

$$NA = \frac{RR_{\Delta} - 1}{RR_{\Delta}} \times N$$

où :

- NA est le nombre de cas attribuables pour la période considérée ;
- RR_{Δ} est l'excès de risque associé au différentiel de pollution ? étudié, donné par la relation exposition risque;
- N est le nombre moyen d'événements sanitaires au cours de la période considérée.

Ce calcul s'applique pour chacun des indicateurs d'exposition caractérisant la pollution urbaine, c'est-à-dire au minimum pour les indicateurs suivants : particules, SO₂, NO₂ et O₃. Cependant, les risques relatifs associés à chaque indicateur de pollution n'étant pas indépendants, les nombres d'événements attribuables aux indicateurs de pollution ne sont pas cumulables. En l'état actuel des connaissances, l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine peut donc être estimé comme étant, au minimum, égal au plus grand nombre d'événements attribuables à l'un des indicateurs d'exposition étudié.

Calcul pratique

Calcul journalier

En pratique, le nombre d'événements sanitaires attribuables à la pollution atmosphérique urbaine est calculé pour chacun des indicateurs d'exposition (particules, SO₂, NO₂ et O₃) et pour chaque journée de la période d'étude considérée (unité de temps retenue pour la construction des

indicateurs d'exposition). Pour un indicateur de pollution et pour un jour j donné, le nombre d'événements attribuables à un différentiel de pollution est calculé par la formule :

$$n_j = \frac{RR(E_j - E_r) - 1}{RR(E_j - E_r)} * N_r$$

où :

- n_j est le nombre journalier d'événements attribuables au différentiel d'exposition ($E_j - E_r$) ;
- RR est le risque relatif associé à un différentiel ($E_j - E_r$) d'exposition donné ;
- E_r est le niveau d'exposition choisi comme référence ;
- E_j est le niveau, pour le jour j, de l'indicateur d'exposition considéré ;
- N_r est le nombre d'événements correspondant au niveau d'exposition choisi comme référence.

Cette modalité de calcul constitue une approximation simplifiée (recommandée par l'OMS) par laquelle les résultats obtenus sont quasi identiques à ceux résultant de l'utilisation de la formule exacte. Le niveau d'exposition de référence choisi est fonction des objectifs de l'EIS. Ce niveau de référence peut être, par exemple :

- le niveau correspondant au percentile 5 de la distribution de l'indicateur considéré au cours de la période d'étude lorsque l'objectif de l'EIS est d'estimer l'impact sanitaire actuel de la pollution en prenant comme référence une situation hypothétique de pollution urbaine quasi nulle. Dans ce cas de figure, le nombre de cas attendus N_r pour le niveau P5 est calculé à partir du nombre de cas observés pour le niveau P50 et de la variation de risque pour un passage de P50 à P5 ;
- la moyenne de la distribution des niveaux journaliers de l'indicateur considéré lorsque l'objectif de l'EIS est d'estimer le gain potentiel en termes sanitaires qui pourrait être obtenu par une diminution donnée (x%) du niveau de cet indicateur par rapport à la situation actuelle ;
- le niveau correspondant au percentile 25 de la distribution de l'indicateur considéré lorsque, par exemple, l'objectif de l'EIS est d'estimer le gain potentiel en termes sanitaires qui pourrait être obtenu par une politique de réduction des émissions associées à cet indicateur qui permettrait de ramener au niveau du percentile 25 tous les jours ayant connu un niveau supérieur ou égal au niveau correspondant au percentile 75 de la distribution actuelle ;
- un niveau absolu de pollution donné, lorsque par exemple, pour l'indicateur O3, le niveau de référence retenu peut être celui estimé à partir des stations rurales historiques.

Calcul saisonnier

Pour chaque indicateur de pollution, l'impact sanitaire saisonnier est ensuite obtenu en sommant les événements sanitaires attribuables calculés pour chaque jour, correspondant la période d'étude ou à l'hypothèse de calcul retenue. Ainsi, par exemple :

- pour une EIS prenant comme référence une situation "sans pollution" (P5) : on somme tous les impacts journaliers (classés par gamme d'exposition) correspondant à la saison d'étude. La présentation des résultats par gamme d'exposition (de 10 à 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, de 20 à 30 etc...) permet ainsi de visualiser la contribution respective de chacun des niveaux à l'impact total. Ce mode de présentation permet ainsi d'estimer l'impact sanitaire associé aux dépassements des valeurs réglementaires et de le comparer à l'impact sanitaire associé aux niveaux de pollution de fond.
- pour une EIS visant à estimer le gain sanitaire (respectivement la perte) lié à une variation du niveau moyen de pollution de $\pm 25\%$, on calcule dans un premier temps l'impact journalier associé à une variation de l'indicateur de $\pm 25\%$, puis on multiplie cet impact par 365/2 (183 pour l'été ; 182 pour l'hiver) pour obtenir l'impact saisonnier;
- pour une EIS reposant sur l'hypothèse d'un passage de P75 (niveau atteint ou dépassé 25% du temps) à P25 (niveau non atteint 25% du temps), on calcule d'abord
- l'impact journalier P75/P25, puis le gain sanitaire est calculé en sommant les calculs effectués pour les 25% des jours concernés. L'impact annuel est ensuite calculé en sommant les résultats des saisons estivale et hivernale.

Annexe 6 : Démarche pour l'extraction des données sanitaires d'admissions hospitalières.



MINISTÈRE DE LA SANTÉ,
DE LA FAMILLE
ET DES PERSONNES HANDICAPÉES

PREFECTURE DE LA REUNION

Direction Régionale des Affaires
Sanitaires et Sociales

CIRE Réunion – Mayotte
Jean-Louis Solet
Tél : 02.62.93.95.41
Fax : 02.62.93.95.95
Email : dr974-cire@sante.gouv.fr

Dossier suivi par :
Manuel MARQUIS
Ingénieur du Génie Sanitaire Stagiaire
ORA/CIRE
☎ 02.62.28.39.40
Email : manuel.marquis@ensi-bourges.fr

Saint-Denis. le ...

Dr ...

Clinique ...

rue de ...

BP

97XXX Saint Denis Cédex

Objet : Demande d'extraction de données du PMSI

Monsieur,

J'ai l'honneur de porter à votre connaissance que dans le cadre des réflexions préalables à la mise en place du Plan Régional de la Qualité de l'Air (PRQA), l'Observatoire Réunionnais de l'Air (ORA) et la Cire Réunion - Mayotte) encadrent actuellement un élève ingénieur sanitaire de l'Ecole Nationale de la Santé Publique qui réalise son mémoire de fin d'études sur le thème suivant : Etude de faisabilité d'une évaluation d'impact sanitaire (EIS) de la pollution atmosphérique à la Réunion appliquée à la ville de Saint-Denis.

La méthodologie de l'EIS, élaborée par l'InVS, consiste dans un premier temps à rassembler des données sur la zone d'étude, concernant la qualité de l'air et les indicateurs sanitaires de mortalité et de morbidité hospitalière. Ces données permettent de déterminer un risque de base (incidence) local qui est mis en relation avec un niveau de pollution donné (exposition). A partir des relations exposition-risque (modèles) existantes on pondère ce risque de base par un risque relatif (facteur multiplicatif lié à la pollution atmosphérique).

On peut ainsi, à partir des données du réseau de surveillance de la qualité de l'air, calculer la proportion d'admissions hospitalières attribuable à la pollution de l'air. Pour déterminer le nombre attendu de cas attribuables, il faut donc connaître le nombre total d'admissions hospitalières pour motifs respiratoires, cardio-vasculaires et cardiaques sur une période donnée.

L'indicateur retenu pour approcher le diagnostic d'admission hospitalière est le diagnostic principal du Résumé d'Unité Médicale fréquenté en premier par le patient admis à l'hôpital (1er RUM), inaccessible dans la base des résumés de sorties anonymisées (RSA) dont nous disposons.

C'est pourquoi j'ai l'honneur de vous demander de bien vouloir me fournir certaines données agrégées (résumés dans le tableau joint à la fin de ce courrier) à savoir :

Le nombre de 1ers RUM :

- avec DP : respiratoire (codes CIM10 : J00 à J99), cardio-vasculaires (codes CIM10 I00 à I99) et cardiaques (codes CIM10 : I00 à I52)
- par code postal de domicile, qui doit être inclus dans la commune de Saint Denis (code géographique INSEE 97411, code PMSI 9D000 depuis 1999)
- mode d'entrée : domicile (pas de transfert d'établissement)
- séjour > 24h (pas de bilan ou visite de surveillance)
- par âge (0-14 ; 15-64 ; + 65 ans)
- par saison tropique (Hiver : de mai à octobre ; Eté : novembre à avril) et par année complète, pour chaque année, allant de 2000 à 2004

Ce courrier est envoyé conjointement à la Direction et au DIM de votre établissement. M. Manuel Marquis, prendra directement contact avec les responsables du DIM afin d'explicitier, si nécessaire, la demande. Il est également à votre disposition pour tout renseignement complémentaire concernant cette démarche.

Veillez agréer, Monsieur, l'assurance de ma considération distinguée.

PJ : Tableau des données à extraire du PMSI pour l'EIS

		DP du premier RUM de I00 à I99 (CIM10)				DP du premier RUM de J00 à J99 (CIM10)				DP du premier RUM de I00 à I52 (CIM10)			
		0-14 ans	15-64 ans	65 ans et +	Total tous âges	0-14 ans	15-64 ans	65 ans et +	Total tous âges	0-14 ans	15-64 ans	65 ans et +	Total tous âges
2000	Ete*												
	Hiver												
	Total												
2001	Ete												
	Hiver												
	Total												
2002	Ete												
	Hiver												
	Total												
2003	Ete												
	Hiver												
	Total												
2004	Ete												
	Hiver												
	Total												

* On considèrera les mois de novembre à avril pour l'été et de mai à octobre pour l'été.

Annexe 7 : Caractéristiques de la zone d'étude

1. Cartographie



Figure 10 Cartographie de la zone d'étude et axes de trafic automobile

Sources : ORA et IGN© Paris Licence n°5201

2. Sélection des IRIS – Détermination de la population de la zone

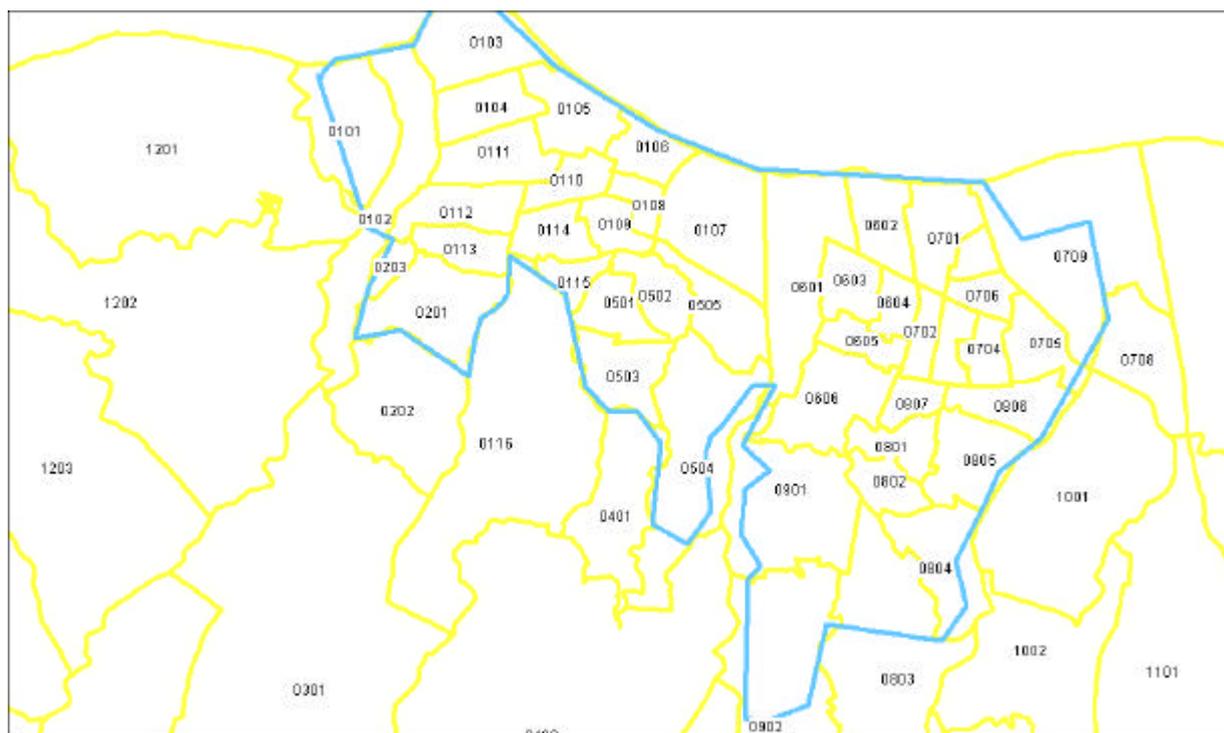


Figure 11 Cartographie des IRIS sur la zone d'étude Source : INSEE

Tableau 11 Décompte de la population par IRIS

Iris-2000	Libellé IRIS-2000	Surface approchée en km ²	Population sans double compte au recens 1999	densité (hab/km ²)	Selection pour l'étude
974110101	0101 - La Petite Ile-la Redoute	0.7194	2 049	2848.20	Oui
974110102	0102 - Le Bas de la Rivière	0.9205	2 317	2517.16	Oui
974110103	0103 - Le Barchois - Gare routière	0.5823	1 934	3321.24	Oui
974110104	0104 - Maréchal Leclerc-la Poste	0.3436	1 572	4575.05	Oui
974110105	0105 - Maréchal Leclerc-le Petit Marché	0.4258	2 473	5808.30	Oui
974110106	0106 - Maréchal Leclerc-le Butor	0.2585	1 970	7620.41	Oui
974110107	0107 - Le Butor-Champ Fleuri	0.7705	2 001	2597.05	Oui
974110108	0108 - Vauban-Bouvet	0.1454	2 030	13961.38	Oui
974110109	0109 - Bouvet-CGSS	0.1937	2 096	10820.62	Oui
974110110	0110 - St Jacques - Decaen	0.2150	2 068	9617.45	Oui
974110111	0111 - Le Jardin de l'Etat-Joinville	0.4031	1 641	4071.17	Oui
974110112	0112 - Le Jardin de l'Etat-Bertin	0.3634	1 747	4807.00	Oui
974110113	0113 - La Source-Ruisseau des Noirs	0.2423	2 391	9868.27	Oui
974110114	0114 - Mazagran-Bois de Nêfles	0.2667	2 871	10766.59	Oui
974110115	0115 - La Providence-Jacques Coeur	0.1501	1 611	10734.97	Oui

974110201	0201 - Mairie de Bellepierre-les Saphirs	0.6619	2 708	4090.99	Oui
974110203	0203 - CHD-IUFM	0.1101	42	381.49	Oui
974110501	0501 - Les Camélias	0.2623	3 477	13254.54	Oui
974110502	0502 - La Trinité-Château Morange	0.2893	3 173	10966.51	Oui
974110503	0503 - Le Bas des Rampes-la Chaumière	0.4040	2 265	5606.38	Oui
974110504	0504 - CES Montgaillard	1.2160	2 825	2323.21	Oui
974110505	0505 - La Médiathèque	0.4204	2 366	5627.94	Oui
974110601	0601 - Les Deux Canons -Finette	0.9018	2 889	3203.66	Oui
974110602	0602 - Lory les Bas	0.3517	2 482	7057.57	Oui
974110603	0603 - La Mairie de Ste Clotilde	0.2645	2 611	9870.76	Oui
974110604	0604 - L'Ecole d'Application Bossard	0.1641	1 939	11814.04	Oui
974110605	0605 - Les Tamarins - Lory les Hauts	0.1893	2 027	10709.76	Oui
974110606	0606 - Clinique Ste Clotilde	0.5957	2 649	4446.80	Oui
974110701	0701 - Eglise-Piscine du Chaudron	0.3953	2 254	5702.11	Oui
974110702	0702 - Le Mail Ouest	0.1598	2 221	13899.25	Oui
974110703	0703 - Le Mail Est	0.1753	2 132	12162.04	Oui
974110704	0704 - Bas du Moufia	0.1883	2 105	11176.07	Oui
974110705	0705 - Eudoxie Nonge	0.3204	2 102	6561.06	Oui
974110706	0706 - Michel Debré-Damase Legros	0.1644	1 515	9217.53	Oui
974110707	0707 - Michel Debré-Mairie du Chaudron	0.1159	2 369	20441.91	Oui
974110708	0708 - Commune Prima	0.5624	1 373	2441.20	Oui
974110709	0709 - Zone Industrielle du Chaudron	1.7138	54	31.51	Oui
974110801	0801 - Les Olympiades - G.Brassens	0.2464	2 343	9507.55	Oui
974110802	0802 - Mairie-Pierre et Sable-Bancouliers	0.2376	2 621	11029.43	Oui
974110803	0803 - Les Ananas - Hauts du Moufia	1.7815	2 303	1047.09	Oui à 90%
974110804	0804 - Moufia Est-les Tulpiers	0.5584	2 468	4419.97	Oui
974110805	0805 - L'Eglise-Moulin à Vent	0.4772	2 755	5773.73	Oui
974110806	0806 - DDASS-Foucherolles	0.3453	1 771	5129.02	Oui
974110807	0807 - Rectorat-Université	0.1557	363	2331.45	Oui
974110901	0901 - Bois de Nèfles - Finette	1.0938	2 275	2079.85	Oui
974110902	0902 - Mairie et Hauts du Bois de Nèfles	1.7320	2 653	980.35	Oui, à 80%
974110116	0116 - La Providence-ONF	2.4797	1 684	679.11	Non
974110202	0202 - Hauts de Bellepierre	1.0012	2 590	2586.95	Non
974110301	0301 - Le Brûlé	6.3820	1 499	234.88	Non
974110302	0302 - Forêt du Brûlé	12.8050	0	0.00	Non
974110401	0401 - St François Bas	0.7326	1 348	1840.03	Non
974110402	0402 - St François Hauts	5.5498	1 966	354.25	Non
974110403	0403 - Forêt de St François	5.7485	0	0.00	Non
974110903	0903 - Forêt du Bois de	12.9225	0	0.00	Non

Nêfles					
974111001	1001 - Grand Canal-le Stade	1.9157	2 769	1445.43	Non
974111002	1002 - Mairie de la Bretagne-Centre	1.3924	3 531	2535.88	Non
974111003	1003 - Bellevue-l'Eglise	4.1656	3 319	796.76	Non
974111004	1004 - Forêt de la Bretagne	19.0879	0	0.00	Non
974111101	1101 - Domenjod	3.0266	2 693	889.77	Non
974111201	1201 - 7ème Km-la Vigie-les Brises	4.0117	2 958	737.35	Non
974111202	1202 - 9ème Km-Moulin Cader-Colorado	5.1735	2 768	535.03	Non
974111203	1203 - 12ème Km -le Ruisseau Blanc	3.9126	2 770	707.98	Non
974111301	1301 - St Bernard	13.9418	3 759	269.62	Non
974111302	1302 - La Montagne-Plaine d'Affouches	14.9194	2	0.13	Non

	Superficie	population	Densité
Commune de St Denis en entier	141.4235	131557	930.2345
Zone d'étude	22.2549 (15,7%)	97901 (74,4%)	4399.0669

Annexe 8 : Campagnes de mesure par laboratoire mobile

Caractéristiques des campagnes de mesure réalisées sur la zone d'étude par l'ORA

Nom de la campagne (Labo Mobile)	Emplacement	Périodes de mesures	Type de station	Observations
LM_Drire_1	Enceinte de la Drire - Sainte-Clotilde	13/10/2000 au 10/11/2000	Proximité trafic automobile	
LM_2-Canons	Enceinte du collège Deux Canons - Sainte-Clotilde	19/11/2000 au 14/12/2000	Urbain de fond	
LM_St-Michel	parking derrière le collège St-Michel - Saint-Denis	15/12/2000 au 04/01/2001	Urbain de fond	
LM_Bouvet	Enceinte école Bouvet - Saint-Denis	11/01/2001 au 19/02/2001	Urbain de fond	
LM_Drire_2	Enceinte de la Drire - Sainte-Clotilde	19/02/2001 au 30/03/2001	Proximité trafic automobile	
LM_IUFM	Parking de l'IUFM - Saint-Denis	07/04/2001 au 17/05/2001	Urbain de fond	
LM_N-D-Div	Parvis de Notre Dame de la Délivrance - Saint-Denis	25/05/2001 au 16/06/2001	Urbain de fond + émissions de la brasserie	
LM_Drire_3	Enceinte de la Drire - Sainte-Clotilde	24/07/2001 au 10/09/2001	Proximité trafic automobile	Certaines données inexistantes
LM_J-Dodu	Angle rue J. Dodu et rue M. Leclerc - Saint-Denis	13/09/2001 au 22/10/2001	Urbain de fond + proximité trafic automobile	
LM_Jamaïque	Enceinte du collège de la Jamaïque - Sainte-Clotilde	25/10/2001 au 18/12/2001	Urbain de fond + Influence de l'aéroport	
LM_H-de-Ville	Parking de la Mairie (H. de Ville) - Saint-Denis	10/09/2002 au 19/11/2002	Urbain de fond + proximité trafic automobile	
Techno-ORA_1 (hors zone)	Siège de l'ORA - Technopôle - Saint-Denis	31/12/2002 au 03/06/2003	Site périurbain	Certaines données manquantes (NO2)
Techno-ORA_2 (hors zone)	Siège de l'ORA - Technopôle - Saint-Denis	09/07/2003 au 17/09/2003	Site périurbain	Données inexistantes (NO2)

Tableau : Coefficients de corrélation entres campagnes réalisées par laboratoire mobile et celles issues des stations fixes durant la même période.

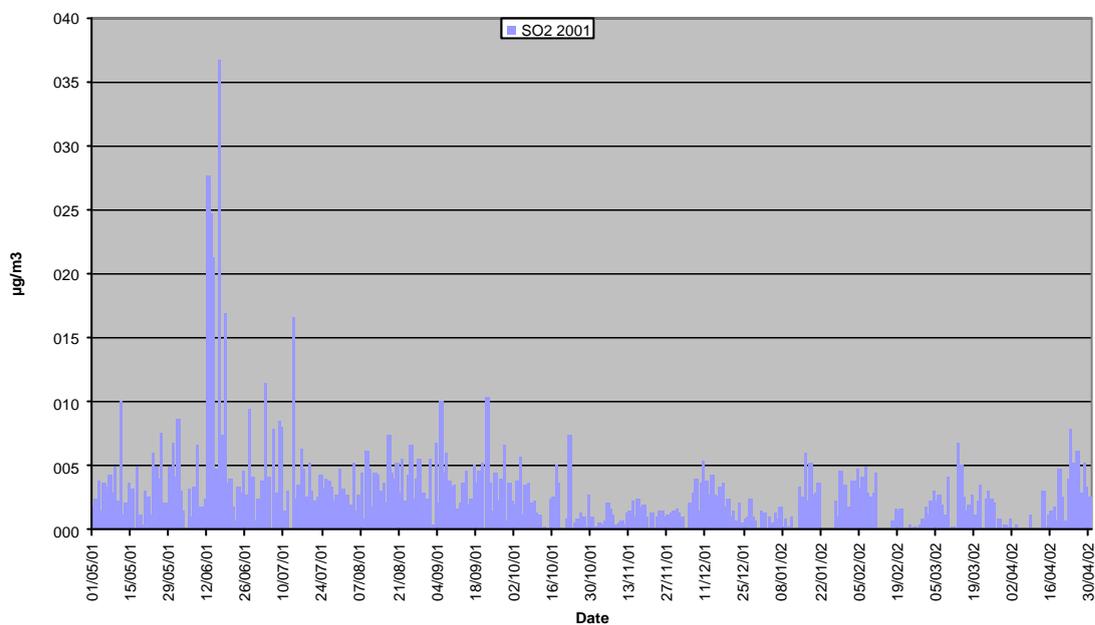
campagne	Coefficient de corrélation				
	SO ₂	NO ₂	PS	O ₃ Lislet Geoffroy	O ₃ Montgaillard
LM_Drire_1					
LM_2-Canons	0.81377815	0.84175736	0.74650873	0.92241524	0.90430114
LM_St-Michel	0.44315989	0.90745131	0.72173618	0.97773539	0.98087473
LM_Bouvet	0.38332576	0.85489936	0.90775498	0.96959306	0.94767109
LM_Drire_2	0.3428921	0.72625621	0.59052472	0.90253332	0.86151753
LM_IUFM	0.19175036	0.41132496	0.64349587	0.86176615	0.93346358
LM_N-D-Dliv	0.9290053	0.45897742	0.4695367	0.86578166	0.83374216
LM_Drire_3					
LM_J-Dodu	0.2791667	0.71623225	0.85672042	0.84204934	0.84019911
LM_Jamaïque	0.5768804	0.66826103	0.39948262	0.9347701	0.93336716
LM_H-de-Ville	0.80425394		0.64799818	0.94058767	0.94024413
Techno-ORA_1	0.16926966		0.6977966	0.92199028	0.95649666
Techno-ORA_2	- 0.18980277		0.61411839	0.14058813	0.88263578

On considère qu'une campagne est bien corrélée (du point de vue de ses variations temporelles) si le coefficient de corrélation est supérieur à 0,6 (*Source : PSAS-9*). Les cases grisées correspondent à des données manquantes ou à des calculs non effectués, pour des campagnes qui se sont avérées différentes du point de vue des valeurs elle-même, avec des écarts importants (c'est-à-dire >20 µg/m³). Dans ce cas la corrélation géographique (hypothèse d'une homogénéité de la qualité de l'air d'un point à un autre) n'est pas respectée et il n'est pas nécessaire de calculer le coefficient de corrélation. Ceci peut notamment être du à des mesures réalisées en proximité du trafic (campagnes Dire).

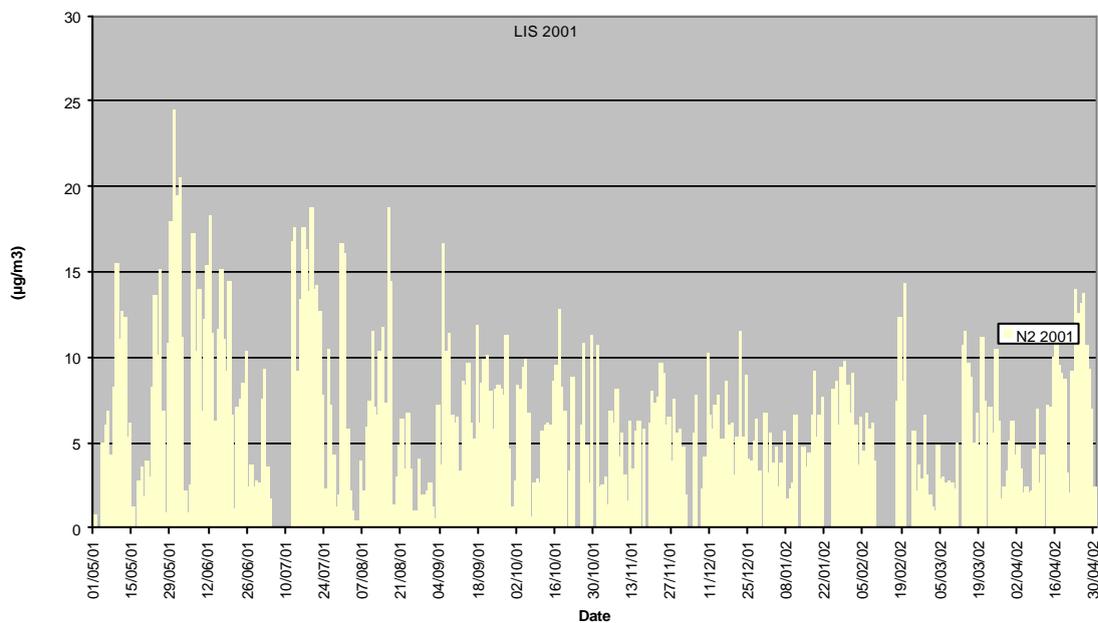
Annexe 9 : Période d'étude

Graphes de disponibilité des moyennes journalières de chaque indicateur de pollution pour la période d'étude sélectionnée (mai 2001-avril 2002)

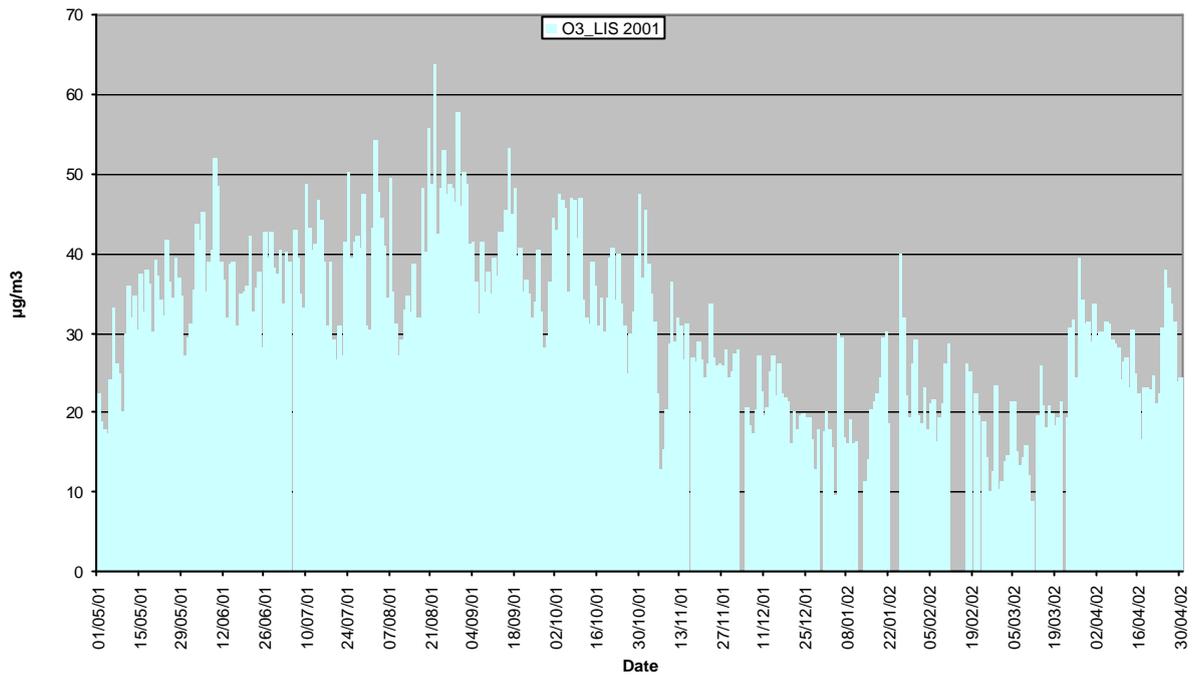
SO₂ (Lislet Geoffroy)



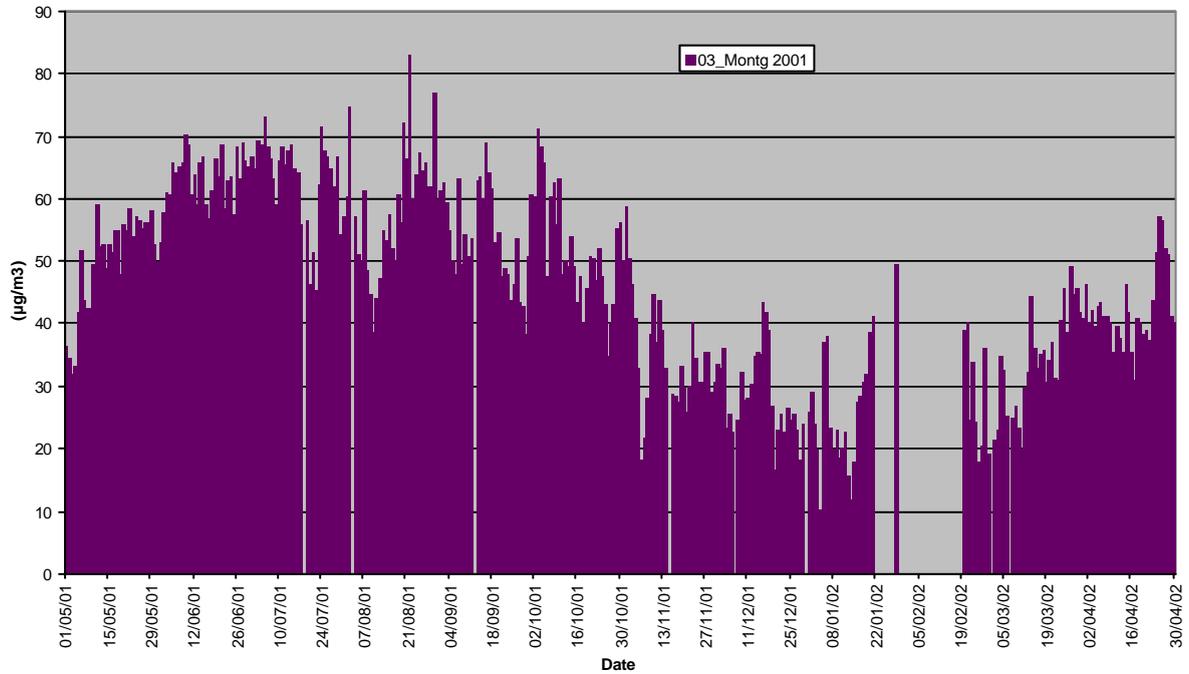
NO₂ (Lislet Geoffroy)



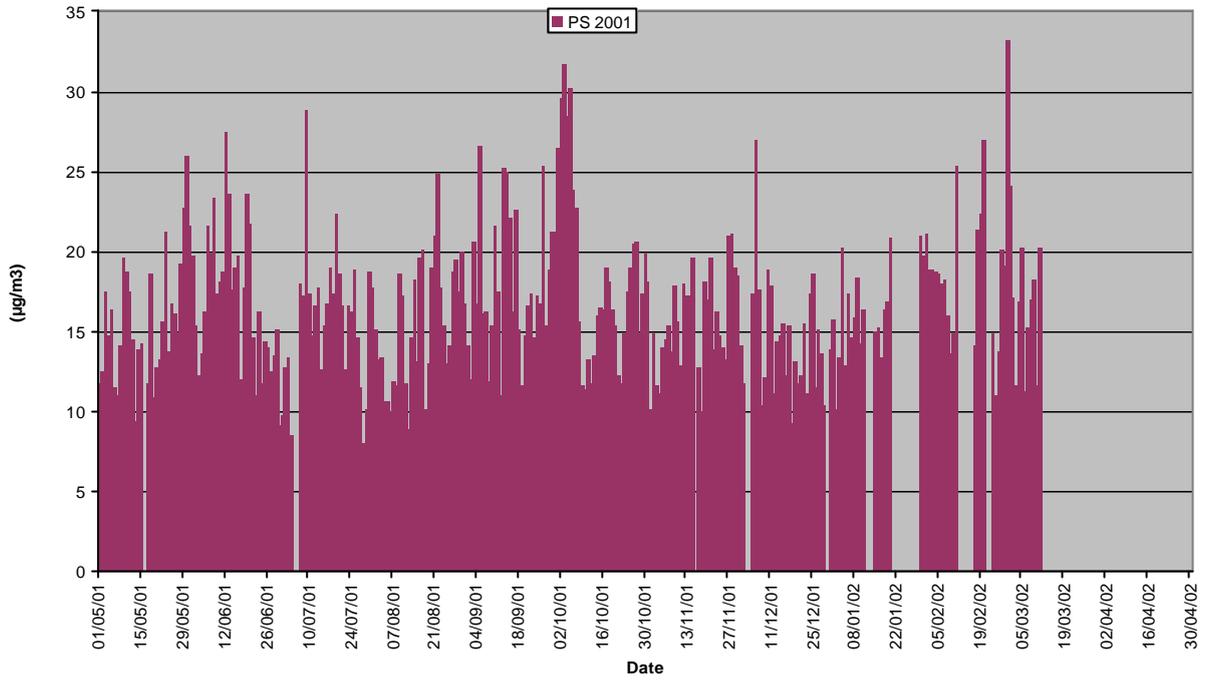
O3 Lislet Geoffroy (moyenne sur 7h-15h)



O3 Montgaillard (moyenne sur 7h-15h)



PM10 (Lislet Geoffroy)



Annexe 10 : Météorologie sur la zone d'étude

Paramètres Météo à Saint Denis

Source : Météo France Station de GILLOT-AERO (974)

	Période	Moyenne ou total /an	Moyenne ou total/Hiver	Moyenne ou total/Eté
Température moyenne (°C)	1975-2004	24.1	22.4	25.8
	2001-2002	24.0	22.3	25.8
	2002-2003	24.2	22.2	26.1
	2003-2004	21.2	19.3	23.1
Nombre moyen de jours de pluie (= 1 mm)	1975-2004	115.9	46.9	69.0
	2001-2002	93.0	36.0	57.0
	2002-2003	121.0	59.0	62.0
	2003-2004	138.0	55.0	83.0
Durée moyenne ensoleillement (en heures)	1975-2004	2609.8	1313.2	1296.6
	2001-2002	2664.9	1333.8	1331.2
	2002-2003	2465.8	1235.1	1230.7
	2003-2004	2623.0	1296.0	1327.0
Nb moyen de jrs avec vent (> 16 m/s)	1975-2004	72.5	43.5	29.0
	2001-2002	84.0	60.0	24.0
	2002-2003	106.0	75.0	31.0
	2003-2004	109.0	67.0	42.0

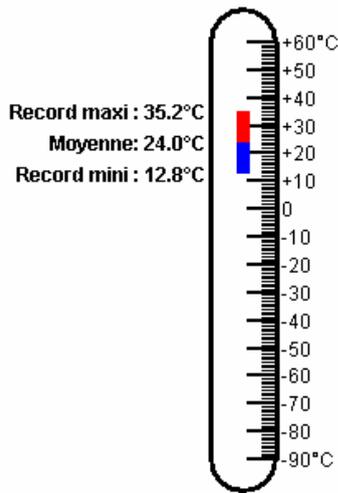
Annexe 11 : Comparaison des zones d'étude

1. Climats

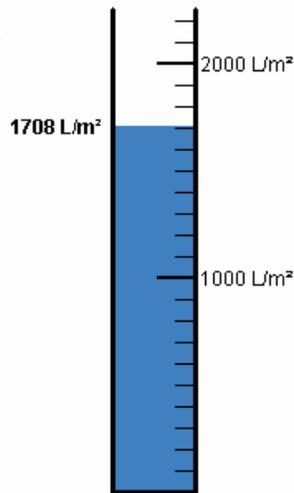
(Extraits de : Météo France « Climats du monde » sur <http://www.meteo.fr/temps/monde/climats/3-2.htm>)

Statistiques : ST DENIS/GILLOT (FRANCE/REUNION) alt. 21 m 

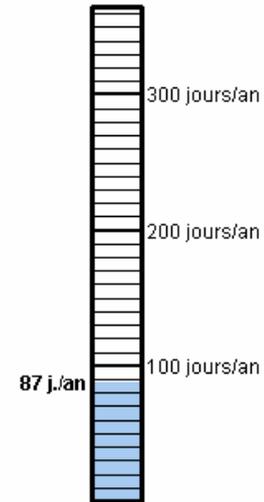
Température



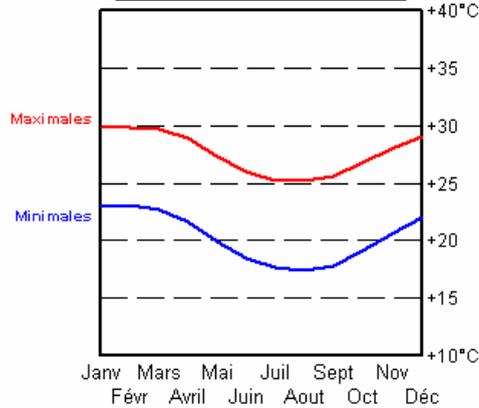
Quantité de pluie



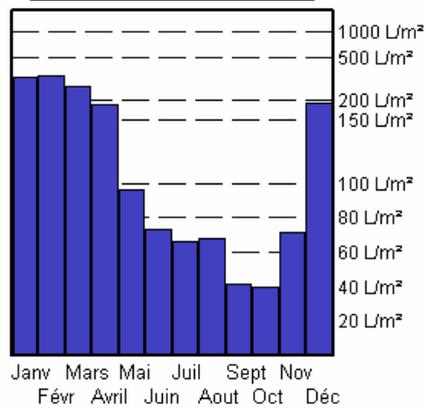
Nb de jours de pluie > 2,5 L/m²



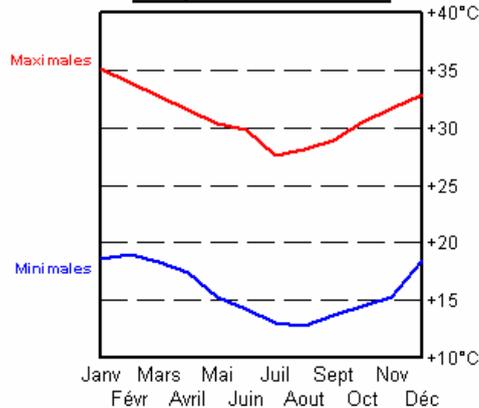
Températures moyennes



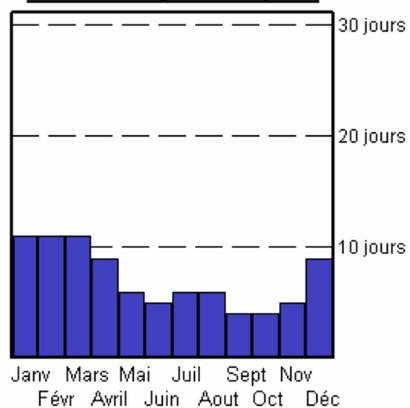
Quantité de précipitation



Températures records



Nombre de jours de pluie



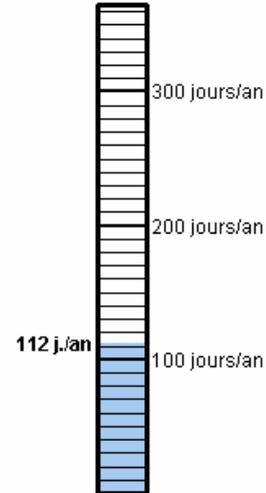
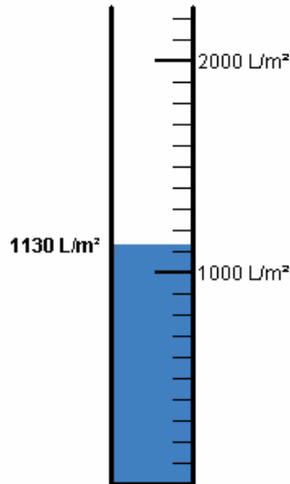
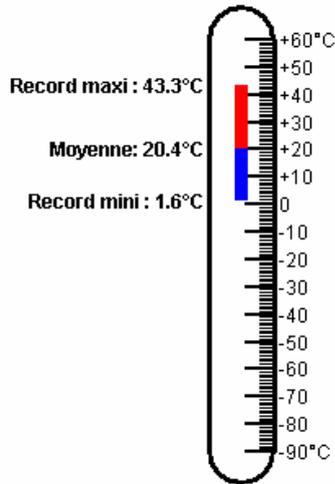
Statistiques : BRISBANE (AUSTRALIE) alt. 5 m



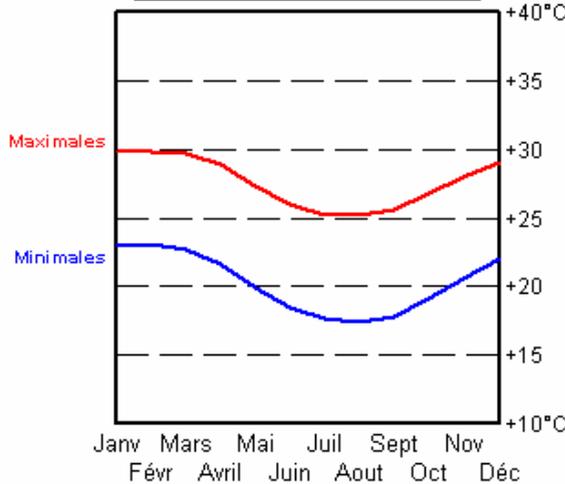
Température

Quantité de pluie

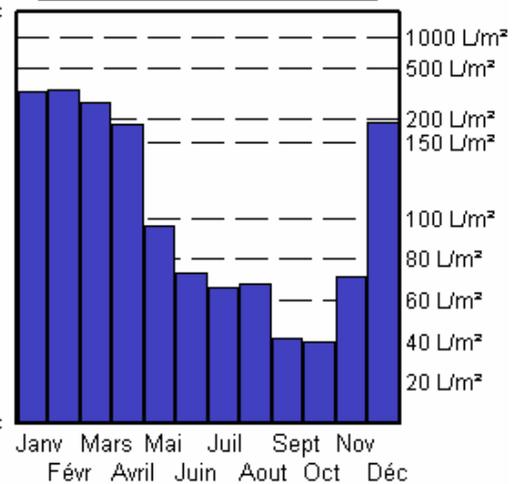
Nb de jours de pluie > 2,5 L/m²



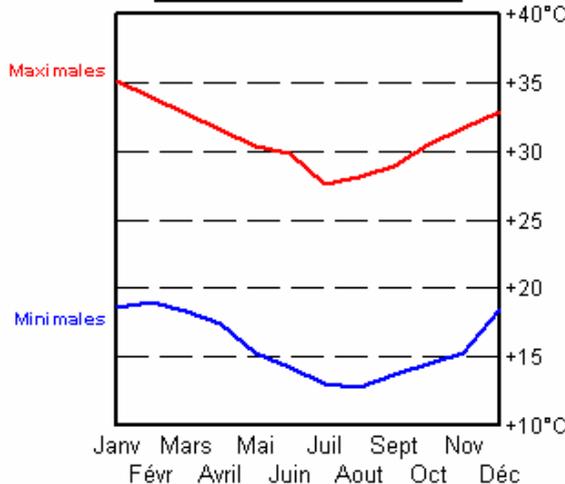
Températures moyennes



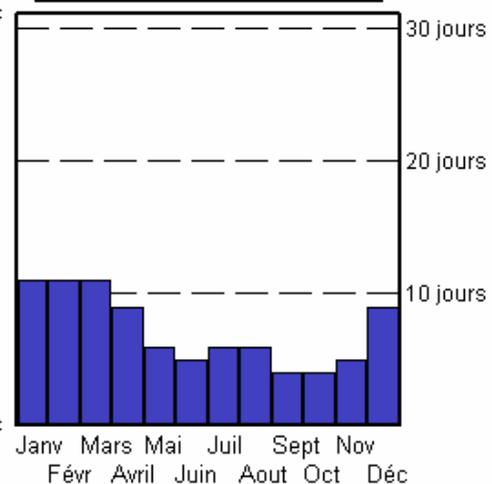
Quantité de précipitation



Températures records



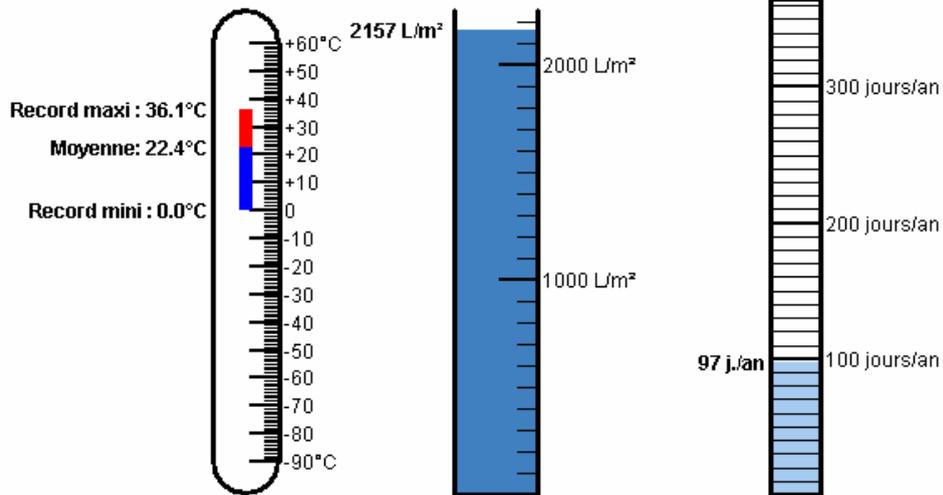
Nombre de jours de pluie



Température

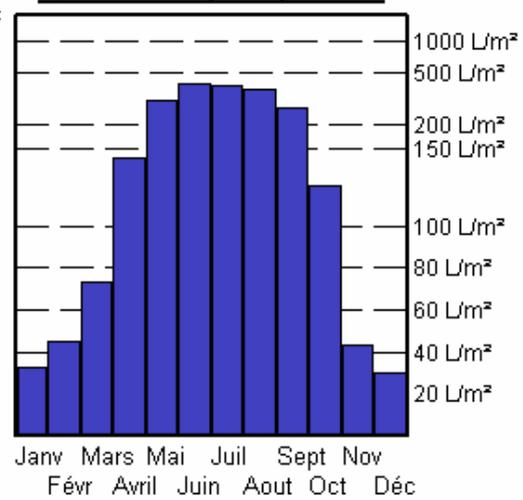
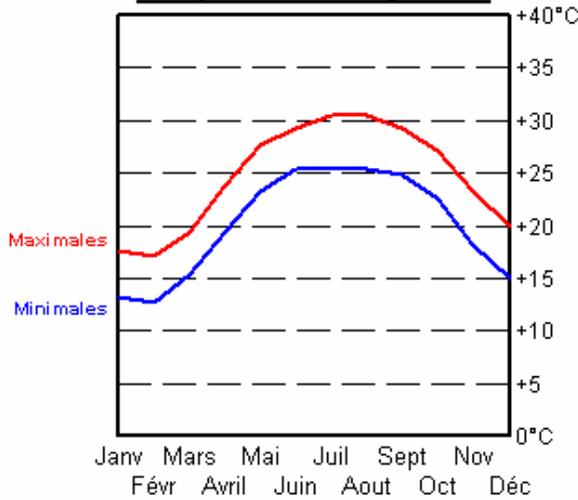
Quantité de pluie

Nb de jours de pluie > 2,5 L/m²



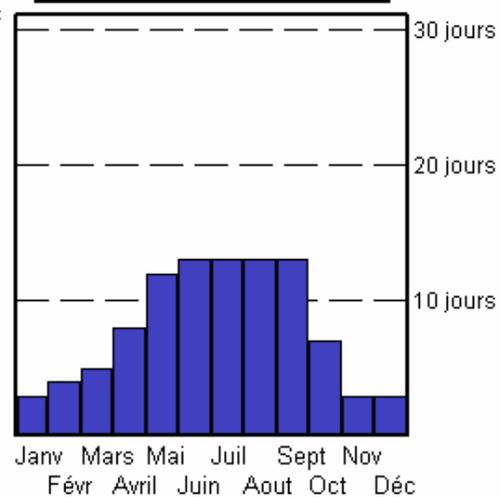
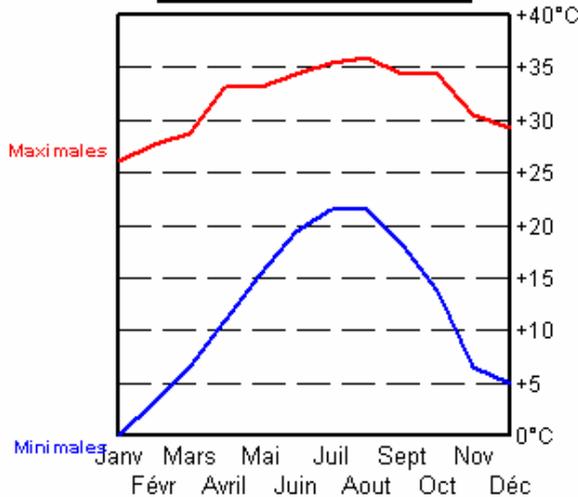
Températures moyennes

Quantité de précipitation



Températures records

Nombre de jours de pluie



2. Niveaux de pollution

		Moyenne			Autres (données annuelles)		
		Annuelle	Été	Hiver	Max	Min	Médiane
O3 (moy 8h/j)	Saint Denis	38.2	28.2	47.4	73.3	9.8	38.2
	Brisbane	37.2	39.0	31.6	124.3	3.3	32.7
	Hong Kong	33.5	32.0	35.1	168.9	0.0	28.5
SO2	Saint Denis	3.1	4.2	1.9	36.7	0.0	2.4
	Brisbane	10.7	10.2	12.6	93.0	0.0	9.5
	Hong Kong	17.8	18.3	17.2	90.1	1.1	17.1
PM10	Saint Denis	16.5	16.2	16.8	33.2	8.0	16.3
	Brisbane	26.9	25.1	28.6	76.2	4.3	24.8
	Hong Kong	51.9	42.2	61.7	156.6	14.1	45.0
NO2	Saint Denis	6.9	5.9	7.8	24.5	0.4	6.2
	Brisbane	26.1	18.2	31.8	93.4	2.3	78.4
	Hong Kong	55.9	48.1	63.8	151.5	15.3	51.4

Les périodes de référence ne sont pas les mêmes pour ces mesures, néanmoins l'objectif est ici de comparer les niveaux de pollution ayant servi de référence lors de l'établissement des relations exposition/risque .

Annexe 12 : Evaluation de l'impact sanitaire et de sa variabilité (résultats)

1. RR de référence

(Source : logiciel EIS-PA 2.0)

RR Augmentation de : 10 µg/m ³					
Polluant	Indicateur	Inférieur	Central	Supérieur	Etudes retenues pour les courbes exposition / risque
O ₃	Mortalité totale	1.003	1.007	1.01	PSAS-9
	Mortalité cardiovasculaire	1.004	1.011	1.018	PSAS-9
	Mortalité respiratoire	1.006	1.012	1.019	PSAS-9
	Morbidité respi 15 - 64 ans	0.998	1.004	1.01	APHEA1
	Morbidité respi > 65 ans	1.004	1.008	1.014	APHEA1
NO ₂	Mortalité totale	1.007	1.01	1.013	PSAS-9
	Mortalité cardiovasculaire	1.005	1.012	1.018	PSAS-9
	Mortalité respiratoire	1.005	1.013	1.021	PSAS-9
	Morbidité respi 15 - 64 ans	0.997	1.002	1.007	APHEA1
	Morbidité respi > 65 ans	0.996	1.004	1.012	APHEA1
	Morbidité cardiovasc. hiver	1.006	1.01	1.014	Guide 1999
	Morbidité cardiovasc. été	1.007	1.012	1.017	Guide 1999
SO ₂	Mortalité totale	1.005	1.011	1.017	PSAS-9
	Mortalité cardiovasculaire	1.004	1.008	1.011	PSAS-9
	Mortalité respiratoire	1.001	1.011	1.021	PSAS-9
	Morbidité respi 15 - 64 ans	0.998	1.002	1.005	APHEA1
	Morbidité respi > 65 ans	1.001	1.004	1.009	APHEA1
	Morbidité cardiovasc. hiver	1.006	1.013	1.02	Guide 1999
PM ₁₀	Mortalité totale	1.004	1.006	1.008	APHEA2
	Morbidité respi > 65 ans	1.006	1.009	1.013	APHEA2
	Morbidité cardiaque	1.002	1.005	1.008	APHEA2
	Morbidité cardiaque > 65 ans	1.004	1.007	1.01	APHEA2
	Mortalité totale long terme	1.026	1.043	1.061	Etude Tri-Nationale

2. Résultats EIS première approche

Indicateur de pollution : Période : Effet sanitaire :		O3 Année mortalité totale	
RESULTATS		Pour la période	
		NA	IC 95%
Scénario 1 : Nombre de cas attribuables par rapport à un niveau faible de pollution ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	(18)	7.48	3.19 10.72
Scénario 2: Gain sanitaire attribuable à une suppression des niveaux supérieurs à ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	(110)	0.00	0.00 0.00
Scénario 3 : Gain sanitaire attribuable à une diminution des niveaux moyens de (%)	(25)	3.28	1.41 4.69

Indicateur de pollution : Période : Effet sanitaire :		PM10 année mortalité totale	
RESULTATS		Pour la période	
		NA	IC 95%
Scénario 1 : Nombre de cas attribuables par rapport à un niveau faible de pollution ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	(0)	1.52	1.01 2.02
Scénario 2: Gain sanitaire attribuable à une suppression des niveaux supérieurs à ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	(40)	0.00	0.00 0.01
Scénario 3 : Gain sanitaire attribuable à une diminution des niveaux moyens de (%)	(25)	0.95	0.63 1.26

Indicateur de pollution : Période : Effet sanitaire :		NO2 Année mortalité totale	
RESULTATS		Pour la période	
		NA	IC 95%
Scénario 1 : Nombre de cas attribuables par rapport à un niveau faible de pollution ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	(0)	1.38	0.97 1.80
Scénario 2: Gain sanitaire attribuable à une suppression des niveaux supérieurs à ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	(40)	0.00	0.00 0.00

Scénario 3 : Gain sanitaire attribuable à une diminution des niveaux moyens de (%)	(25)	0.35	0.24	0.45
--	------	------	------	------

Indicateur de pollution :
Période :
Effet sanitaire :

SO2
Année
mortalité totale

RESULTATS	Pour la période			
	NA	IC 95%		
Scénario 1 : Nombre de cas attribuables par rapport à un niveau faible de pollution ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0	1.52	0.69	2.35
Scénario 2: Gain sanitaire attribuable à une suppression des niveaux supérieurs à ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	50	0.00	0.00	0.00
Scénario 3 : Gain sanitaire attribuable à une diminution des niveaux moyens de (%)	25	0.38	0.18	0.59

Indicateur de pollution :
Période :
Effet sanitaire :

O3
année
mortalité
cardiovasculaire

RESULTATS	Pour la période			
	NA	IC 95%		
Scénario 1 : Nombre de cas attribuables par rapport à un niveau faible de pollution ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	18	4.08	1.47	6.72
Scénario 2: Gain sanitaire attribuable à une suppression des niveaux supérieurs à ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	110	0.00	0.00	0.00
Scénario 3 : Gain sanitaire attribuable à une diminution des niveaux moyens de (%)	25	1.78	0.65	2.91

Indicateur de pollution :
Période :
Effet sanitaire :

NO2
année
mortalité cardio

RESULTATS	Pour la période			
	NA	IC 95%		
Scénario 1 : Nombre de cas attribuables par rapport à un niveau faible de pollution ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0	0.54	0.22	0.81
Scénario 2: Gain sanitaire attribuable à une suppression des niveaux supérieurs à ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	40	0.00	0.00	0.00

Scénario 3 : Gain sanitaire attribuable à une diminution des niveaux moyens de (%)	25	0.14	0.06	0.20
--	----	------	------	------

Indicateur de pollution :	SO2
Période :	année
Effet sanitaire :	mortalité cardio

RESULTATS	Pour la période			
	NA	IC 95%		
Scénario 1 : Nombre de cas attribuables par rapport à un niveau faible de pollution (µg/m3)	0	0.36	0.18	0.49
Scénario 2: Gain sanitaire attribuable à une suppression des niveaux supérieurs à (µg/m3)	50	0.00	0.00	0.00
Scénario 3 : Gain sanitaire attribuable à une diminution des niveaux moyens de (%)	25	0.09	0.05	0.12

Indicateur de pollution :	O3
Période :	Année
Effet sanitaire :	mortalité respi

RESULTATS	Pour la période			
	NA	IC 95%		
Scénario 1 : Nombre de cas attribuables par rapport à un niveau faible de pollution (µg/m3)	18	0.94	0.47	1.51
Scénario 2: Gain sanitaire attribuable à une suppression des niveaux supérieurs à (µg/m3)	110	0.00	0.00	0.00
Scénario 3 : Gain sanitaire attribuable à une diminution des niveaux moyens de (%)	25	0.41	0.21	0.65

Indicateur de pollution :	NO2
Période :	année
Effet sanitaire :	mortalité respi

RESULTATS	Pour la période			
	NA	IC 95%		
Scénario 1 : Nombre de cas attribuables par rapport à un niveau faible de pollution (µg/m3)	0	0.11	0.04	0.18
Scénario 2: Gain sanitaire attribuable à une suppression des niveaux supérieurs à (µg/m3)	40	0.00	0.00	0.00

Scénario 3 : Gain sanitaire attribuable à une diminution des niveaux moyens de (%)	25	0.03	0.01	0.05
--	----	------	------	------

Indicateur de pollution :	SO2
Période :	Année
Effet sanitaire :	mortalité respi

RESULTATS	Pour la période			
	NA	IC 95%		
Scénario 1 : Nombre de cas attribuables par rapport à un niveau faible de pollution (µg/m3)	0	0.10	0.01	0.18
Scénario 2: Gain sanitaire attribuable à une suppression des niveaux supérieurs à (µg/m3)	50	0.00	0.00	0.00
Scénario 3 : Gain sanitaire attribuable à une diminution des niveaux moyens de (%)	25	0.02	0.00	0.05

Indicateur de pollution :	O3
Période :	année
Effet sanitaire :	morbidity respi 15-64

RESULTATS	Pour la période			
	NA	IC 95%		
Scénario 1 : Nombre de cas attribuables par rapport à un niveau faible de pollution (µg/m3)	18	3.55	-1.76	8.93
Scénario 2: Gain sanitaire attribuable à une suppression des niveaux supérieurs à (µg/m3)	110	0.00	0.00	0.00
Scénario 3 : Gain sanitaire attribuable à une diminution des niveaux moyens de (%)	25	1.57	-0.78	3.91

Indicateur de pollution :	NO2
Période :	Année
Effet sanitaire :	morbidity respi 15-64

RESULTATS	Pour la période			
	NA	IC 95%		
Scénario 1 : Nombre de cas attribuables par rapport à un niveau faible de pollution (µg/m3)	0	0.21	-0.31	0.72
Scénario 2: Gain sanitaire attribuable à une suppression des niveaux supérieurs à (µg/m3)	40	0.00	0.00	0.00

Scénario 3 : Gain sanitaire attribuable à une diminution des niveaux moyens de (%)	25	0.05	-0.08	0.18
--	----	------	-------	------

Indicateur de pollution : Période :	SO2 Année
Effet sanitaire :	morbidité respi 15-64

RESULTATS	Pour la période			
	NA	IC 95%		
Scénario 1 : Nombre de cas attribuables par rapport à un niveau faible de pollution (µg/m3)	0	0.21	-0.21	0.52
Scénario 2: Gain sanitaire attribuable à une suppression des niveaux supérieurs à (µg/m3)	50	0.00	0.00	0.00
Scénario 3 : Gain sanitaire attribuable à une diminution des niveaux moyens de (%)	25	0.05	-0.05	0.13

Indicateur de pollution : Période :	O3 Année
Effet sanitaire :	morbidité respi >65

RESULTATS	Pour la période			
	NA	IC 95%		
Scénario 1 : Nombre de cas attribuables par rapport à un niveau faible de pollution (µg/m3)	18	11.70	5.83	20.61
Scénario 2: Gain sanitaire attribuable à une suppression des niveaux supérieurs à (µg/m3)	110	0.00	0.00	0.00
Scénario 3 : Gain sanitaire attribuable à une diminution des niveaux moyens de (%)	25	5.13	2.56	8.97

Indicateur de pollution : Période :	NO2 Année
Effet sanitaire :	morbidité respi >65

RESULTATS	Pour la période			
	NA	IC 95%		
Scénario 1 : Nombre de cas attribuables par rapport à un niveau faible de pollution (µg/m3)	0	0.73	-0.73	2.17

Scénario 2: Gain sanitaire attribuable à une suppression des niveaux supérieurs à ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	40	0.00	0.00	0.00
Scénario 3 : Gain sanitaire attribuable à une diminution des niveaux moyens de (%)	25	0.18	-0.18	0.55

Indicateur de pollution :	SO2
Période :	
Effet sanitaire :	

Année
morbidité respi
>65

RESULTATS	Pour la période			
	NA	IC 95%		
Scénario 1 : Nombre de cas attribuables par rapport à un niveau faible de pollution ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0	0.73	0.18	1.63
Scénario 2: Gain sanitaire attribuable à une suppression des niveaux supérieurs à ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	50	0.00	0.00	0.00
Scénario 3 : Gain sanitaire attribuable à une diminution des niveaux moyens de (%)	25	0.18	0.05	0.41

Indicateur de pollution :	PM10
Période :	
Effet sanitaire :	

Année
morbidité respi
>65

RESULTATS	Pour la période			
	NA	IC 95%		
Scénario 1 : Nombre de cas attribuables par rapport à un niveau faible de pollution ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	10	2.96	1.97	4.28
Scénario 2: Gain sanitaire attribuable à une suppression des niveaux supérieurs à ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	30	0.01	0.01	0.01
Scénario 3 : Gain sanitaire attribuable à une diminution des niveaux moyens de (%)	25	1.85	1.23	2.66

Indicateur de pollution :	PM10
Période :	
Effet sanitaire :	

année
Morbidité
cardiaque

RESULTATS	Pour la période		
	NA	IC 95%	

Scénario 1 : Nombre de cas attribuables par rapport à un niveau faible de pollution ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	10	2.01	0.80	3.21
Scénario 2: Gain sanitaire attribuable à une suppression des niveaux supérieurs à ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	30	0.01	0.00	0.01
Scénario 3 : Gain sanitaire attribuable à une diminution des niveaux moyens de (%)	25	1.26	0.50	2.01

Indicateur de pollution :	PM10 année Morbidité cardiaque >65
Période :	
Effet sanitaire :	

RESULTATS	Pour la période			
	NA	IC 95%		
Scénario 1 : Nombre de cas attribuables par rapport à un niveau faible de pollution ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	10	1.45	0.83	2.08
Scénario 2: Gain sanitaire attribuable à une suppression des niveaux supérieurs à ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	30	0.00	0.00	0.01
Scénario 3 : Gain sanitaire attribuable à une diminution des niveaux moyens de (%)	25	0.91	0.52	1.30

Indicateur de pollution :	NO2 Été Morbidité cardiovasc.
Période :	
Effet sanitaire :	

RESULTATS	Pour la période			
	NA	IC 95%		
Scénario 1 : Nombre de cas attribuables par rapport à un niveau faible de pollution ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0	1.18	0.71	1.65
Scénario 2: Gain sanitaire attribuable à une suppression des niveaux supérieurs à ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	40	0.00	0.00	0.00
Scénario 3 : Gain sanitaire attribuable à une diminution des niveaux moyens de (%)	25	0.30	0.18	0.41

Indicateur de pollution :	NO2 hiver Morbidité cardiovasc,
Période :	
Effet sanitaire :	

RESULTATS	Pour la période		
-----------	-----------------	--	--

		NA	IC 95%	
Scénario 1 : Nombre de cas attribuables par rapport à un niveau faible de pollution ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0	2.77	1.62	3.92
Scénario 2: Gain sanitaire attribuable à une suppression des niveaux supérieurs à ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	40	0.00	0.00	0.00
Scénario 3 : Gain sanitaire attribuable à une diminution des niveaux moyens de (%)	25	0.70	0.41	0.99

Indicateur de pollution :	SO2 Eté Morbidity cardiovasc.
Période :	
Effet sanitaire :	

RESULTATS		Pour la période	
		NA	IC 95%
Scénario 1 : Nombre de cas attribuables par rapport à un niveau faible de pollution ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0	1.53	0.71 2.35
Scénario 2: Gain sanitaire attribuable à une suppression des niveaux supérieurs à ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	50	0.00	0.00 0.00
Scénario 3 : Gain sanitaire attribuable à une diminution des niveaux moyens de (%)	25	0.38	0.18 0.59

Long terme :

Indicateur de pollution :	PM10 année mortalité totale
Période :	
Effet sanitaire :	

RESULTATS		Pour la période	
		NA	IC 95%
Scénario 1 : gain sanitaire lié à la diminution de la moyenne annuelle au niveau de la norme européenne 2005 de ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	40	0.00	0.00 0.00
Scénario 2 : gain sanitaire lié à la diminution de la moyenne annuelle au niveau de la norme européenne 2010 de ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	20	0.00	0.00 0.00
Scénario 3 : gain sanitaire lié à la diminution de 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la moyenne annuelle	5	8.03	4.87 11.34
Scénario 4 : Gain sanitaire attribuable à une diminution des niveaux de (%)	25	6.42	3.90 9.06

Remarque

A noter que pour les calculs d'impact, les résultats sont donnés par le logiciel EIS PA par période d'étude ou par an, sachant que dans notre cas les périodes d'études considérées pour chaque polluant sont inférieures à un an, si l'on retire les journées ou les mesures ne sont pas disponibles. Le calcul d'impact se fait en effet sur un pas de temps journalier. Or le logiciel n'extrapole pas les impacts à un an pour des séries de données inférieures à une année. Comme les pourcentages de valeurs manquantes ne sont pas les mêmes pour chaque polluant, la comparaison des impacts entre des indicateurs différents est biaisée. Après vérification, il apparaît que les ordres de grandeur restent les mêmes si l'on extrapole les impacts des période d'études effectives à un an et que l'ordre des impacts attribuables à chaque indicateur reste le même.

Compte tenu des pourcentages de valeurs manquantes pour notre période d'étude, si l'on s'en tient aux valeurs renvoyées par le logiciel, la sous-estimation est relativement plus importante pour les PM10 que pour les autres indicateurs. L'impact de l'O3 pour la période d'étude effective est le plus proche de l'impact annuel réel, grâce à la présence de deux stations de mesure et au remplacement des valeurs manquantes. L'interprétation des résultats renvoyés par le logiciel doit donc être prudente, en particulier si l'on travaille sur des séries de données annuelles comportant des pourcentages non négligeables de valeurs manquantes.

3. Relations exposition/risque alternatives

Hong Kong

RR	Augmentation de :	10 µg/m3		
Polluant	Indicateur	Inférieur	Central	Supérieur
O3	Mortalité totale (hiver)	1.0018	1.0073	1.0109
	Mortalité cardiovasculaire (hiver)	1.0000	1.0091	1.0200
	Mortalité respiratoire	1.0036	1.0146	1.0273
	Morbidité respi 15 - 64 ans	1.0110	1.0220	1.0340
	Morbidité respi > 65 ans	1.0180	1.0290	1.0390
PM10	Mortalité totale			
	Morbidité respi > 65 ans	1.0100	1.0180	1.0260
	Morbidité cardiaque			
	Morbidité cardiaque > 65 ans			
	Mortalité totale long terme			

Brisbane

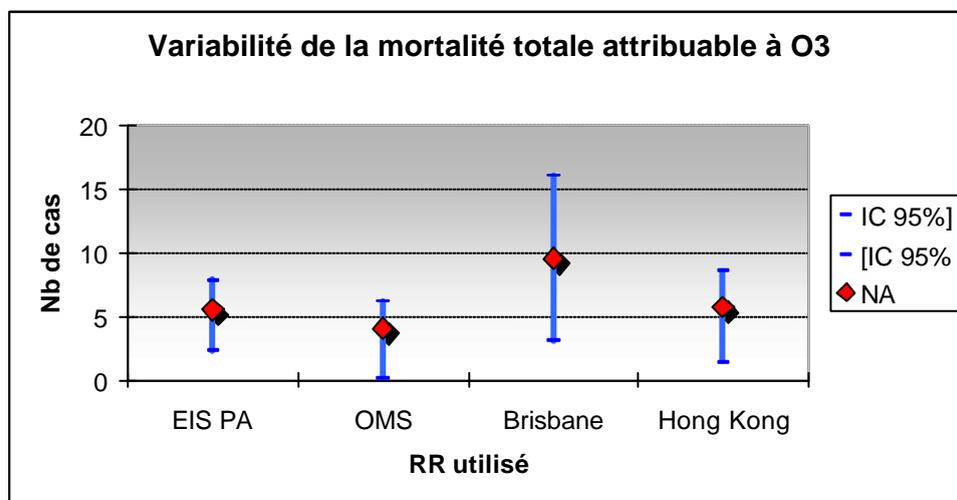
RR	Augmentation de :	10 µg/m3		
Polluant	Indicateur	Inférieur	Central	Supérieur
O3	Mortalité totale (hiver)	1.0041	1.0122	1.0204
	Mortalité cardiovasculaire (hiver)	0.9920	1.0102	1.0250
	Mortalité respiratoire	0.9800	1.0199	1.0515
	Morbidité respi 15 - 64 ans	1.0066	1.0230	1.0403
	Morbidité respi > 65 ans	1.0082	1.0276	1.0480
PM10	Mortalité totale	1.0036	1.0108	1.0180
	Morbidité respi > 65 ans	0.9990	1.0024	1.0060
	Morbidité cardiaque			

	Morbidité cardiaque > 65 ans			
	Mortalité totale long terme			

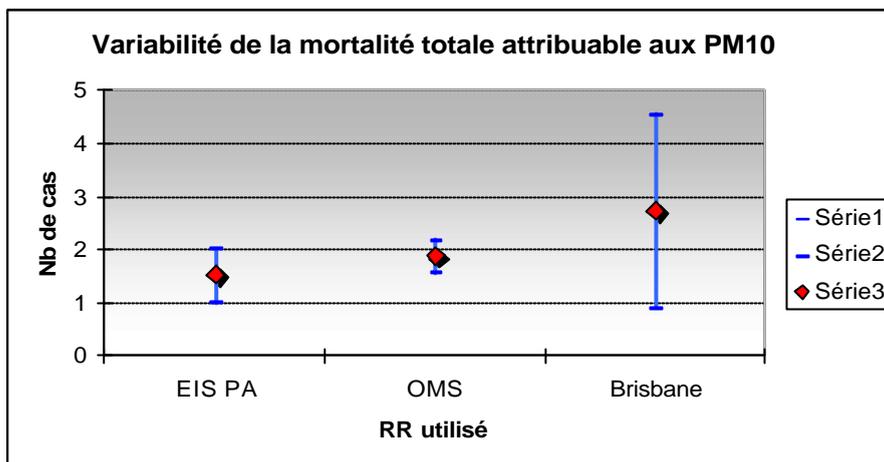
OMS

RR		Augmentation de : 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
Polluant	Indicateur	Inférieur	Central	Supérieur
O3	Mortalité totale (hiver)	1.0002	1.0051	1.0078
	Mortalité cardiovasculaire (hiver)	1.0000	1.0040	1.0060
	Mortalité respiratoire	1.0046	1.0125	1.0208
	Morbidité respi 15 - 64 ans	1.0026	1.0062	1.0098
	Morbidité respi > 65 ans	1.0036	1.0076	1.0116
PM10	Mortalité totale	1.0062	1.0074	1.0086
	Morbidité respi > 65 ans			
	Morbidité cardiaque			
	Morbidité cardiaque > 65 ans			
	Mortalité totale long terme			

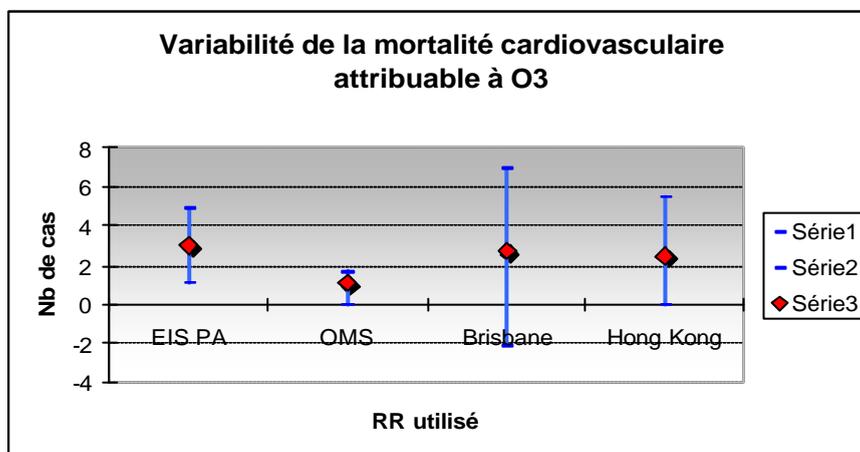
4. Variabilité des principaux résultats



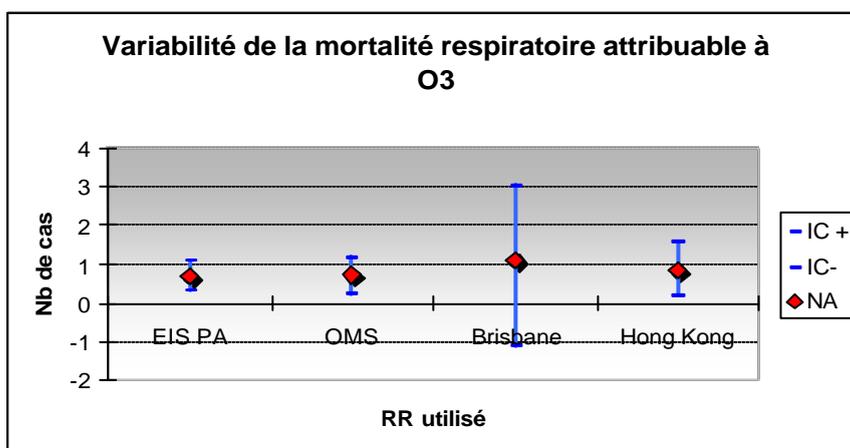
	NA	IC-	IC +
EIS PA	5.48895333	2.3405659	7.87109196
OMS	4.01441475	0.15645756	6.16064279
Brisbane	9.5014162	3.1346922	15.9995047
Hong Kong	5.70991493	1.4176701	8.60431978



	NA	IC-	IC +
EIS PA	1.51513611	1.01014691	2.02006988
OMS	1.86689834	1.56420995	2.16956693
Brisbane	2.71841693	0.9063191	4.52981558
Hong Kong			

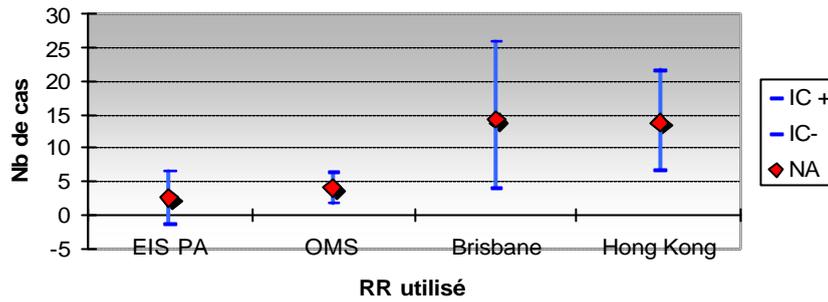


	NA	IC-	IC +
EIS PA	2.98426811	1.07564771	4.92663901
OMS	1.10054837	0	1.65499367
Brisbane	2.77274381	-2.12445608	6.92111226
Hong Kong	2.48019878	0	5.53214621



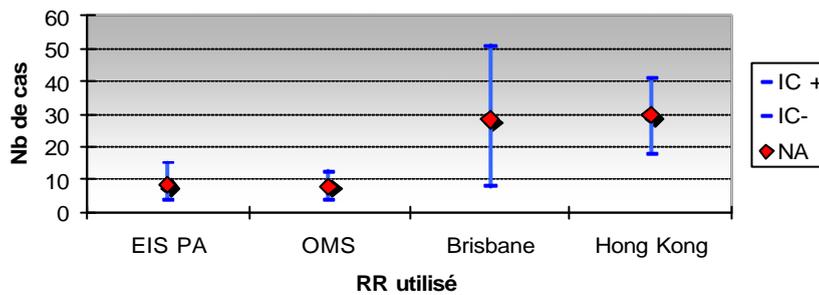
	NA	IC-	IC +
EIS PA	0.69006922	0.34243316	1.10229492
OMS	0.71810618	0.26164272	1.20749734
Brisbane	1.1264799	-1.07664999	3.03579554
Hong Kong	0.83369381	0.20556996	1.58849671

Variabilité de la morbidité respiratoire pour les 15-64 ans attribuable à O3



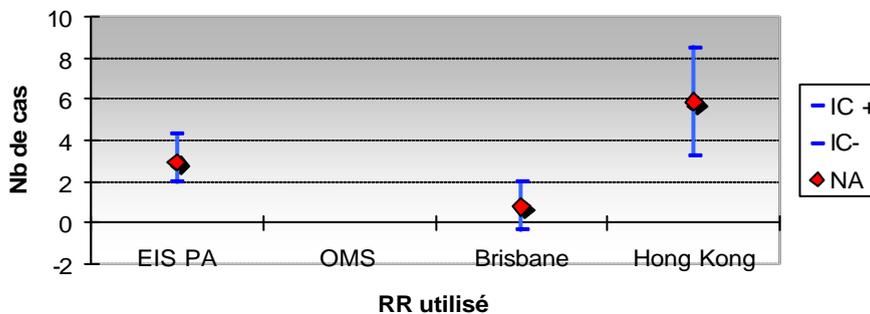
	NA	IC-	IC+
EIS PA	2.61015013	-1.29522949	6.57495575
OMS	4.0278339	1.68143636	6.3955544
Brisbane	14.4272328	4.08294912	25.8871198
Hong Kong	13.8505278	6.82989196	21.7313473

Variabilité de la morbidité respiratoire pour les plus de 65 ans attribuable à O3



	NA	IC-	IC+
EIS PA	8.57921304	4.26801303	15.1276639
OMS	8.15679769	3.84429596	12.5128208
Brisbane	28.4261408	8.21921757	50.7699252
Hong Kong	29.8369904	18.2646053	40.6339509

Variabilité de la morbidité respiratoire pour les plus de 65 ans attribuable aux PM10



	NA	IC-	IC+
EIS PA	2.96170717	1.97463481	4.27755498
OMS			
Brisbane	0.79332778	-0.33058493	1.98312042
Hong Kong	5.8877108	3.27165688	8.50268305