

## Air et santé : quelques aspects de la problématique en Martinique



- Page 3 | [Pollution atmosphérique urbaine en Martinique : première évaluation d'impact sanitaire sur l'agglomération foyaloise pour la période 2003-2008](#) |
- Page 6 | [Les épisodes de brume de sable désertique en Martinique](#) |
- Page 11 | [Effets sanitaires des brumes de sable désertique à la Martinique, 2001-2006](#) |
- Page 15 | [Echouage d'algues sargasses sur le littoral martiniquais en 2011 : évaluation des expositions humaines et mesures d'impact sanitaire](#) |
- Page 23 | [Etude de la qualité de l'air intérieur dans les écoles et crèches de la Martinique de 2010-2011](#) |

### | Editorial |

**Mathilde Pascal, Département Santé Environnement, Institut de Veille Sanitaire**

La pollution de l'air est une problématique complexe, de par la grande diversité des sources et de la nature des polluants émis (chimiques, biologiques, radiologiques), la multiplicité des lieux d'exposition (air extérieur, air intérieur, expositions professionnelles...). L'ensemble de la population est exposé, car il est impossible de s'empêcher de respirer un air même pollué.

Ce numéro du BVS illustre bien cette complexité, et met en lumière l'importance des collaborations interdisciplinaires pour mieux comprendre, quantifier, et si possible limiter les impacts de la pollution de l'air.

La pollution atmosphérique urbaine notamment liée au trafic, constitue une des préoccupations premières de santé publique, de par son impact considérable sur la population. En Europe, le projet Aphekom a estimé à près de 19 000 le nombre de décès prématurés dû à des niveaux trop importants de particules fines (PM2.5 supérieures en moyenne annuelle à la valeur guide de l'Organisation Mondiale de la Santé de 10 µg/m<sup>3</sup>). Des ordres de grandeur similaires sont retrouvés par de nombreuses études européennes et nord-américaines, confirmant que la pollution de l'air est un des plus importants risques environnementaux de nos sociétés. Pour la première fois, la méthode de l'évaluation de l'impact sanitaire classique-

ment utilisée en métropole, a été appliquée à une ville de l'outremer français (cf article A. Bateau et. al.). Elle a montré que si les niveaux de polluants sont relativement bas à Fort-de-France, ils demeurent au-delà des valeurs recommandées par l'OMS pour la protection de la santé humaine et ont un impact non négligeable sur la population. Les résultats doivent certes être interprétés avec précaution du fait des nombreuses incertitudes inhérentes à toute évaluation d'impact sanitaire, mais ils constituent une première étape, et pourront être complétés dans les années à venir, notamment par une analyse de l'impact à long terme des PM2.5.

Les Antilles-Guyane sont également soumises à des pollutions particulières telles que les vents de sable du Sahara décrits dans l'article de C. Boullanger et. al., se traduisant par des pics de particules fines et ultrafines pouvant perdurer sur plusieurs jours. La composition de ces particules peut être complexe, incluant non seulement le quartz, constituant principal des grains de sable, mais aussi de l'argile, des minéraux, du fer, des nitrates, des sulfates, de la matière organiques (bactéries et spores, dont certaines viables) et des produits de combustion de la biomasse. Les particules grossières (PM2.5-10) issues des vents de sable ont été associées à une augmentation de la

mortalité à court-terme dans le Sud de l'Europe, et à une augmentation des hospitalisations et des symptômes respiratoires aux Caraïbes. Dans la lignée de ces études, l'article d'A. Blateau et al. décrit les impacts des vents de sables sur les hospitalisations à Fort-de-France, mettant en évidence que ces particules d'origine naturelle pourraient bien être aussi dangereuses pour la santé que les particules issues du trafic.

L'article de M. Ledrans et al. fait le point sur un autre risque lié à l'air et susceptible de se reproduire dans les prochaines années : les émissions de sulfure d'hydrogène produits par la décomposition des algues vertes.

Enfin, ce BVS illustre un autre volet important de la problématique air ; la pollution de l'air intérieur qui est une source d'exposition majeure à des contaminants de nature chimique, physique et biologique. Plusieurs écoles de Martinique ont participé à la campagne d'évaluation de la qualité de l'air dans les crèches et les écoles coordonnée par l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur et mise en œuvre par Madininair (cf article de C. Boullanger et al.). Les résultats

sont dans l'ordre de grandeur national pour le formaldéhyde et le benzène. Ils sont aussi remarquablement bons pour l'indice de confinement. En effet, il ne faut pas oublier que les problèmes d'air intérieur les plus courants proviennent d'un faible renouvellement de l'air, favorisant l'humidité et l'installation de moisissures.

L'ensemble de ces études menées par la Cire et Madininair fournissent des éléments précieux pour mieux documenter les impacts sanitaires des pollutions atmosphériques aux Antilles. Elles posent également les bases des futures études notamment dans le cadre du programme air et santé de l'InVS (Psas). Cette démarche d'amélioration des connaissances est essentielle dans un contexte d'augmentation de la population et du parc automobile qui se traduira par une augmentation de la pollution liée au trafic. De plus, le changement climatique devrait causer l'augmentation des vents de sable. En effet, les périodes de sécheresse et l'érosion éolienne augmentent au Sahel et l'association antagoniste entre pluviométrie au Sahel et concentrations en poussières dans l'air de l'Atlantique Nord est démontrée.

## | Pollution atmosphérique urbaine en Martinique : première évaluation d'impact sanitaire sur l'agglomération foyale pour la période 2003-2008 |

Alain Blateau<sup>1</sup>, Ayan Mahamoud Youssouf<sup>1,2</sup>, Magali Corso<sup>3</sup>, Mathilde Pascal<sup>3</sup>, Stéphane Gandar<sup>4</sup>, Martine Ledrans<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Cellule de l'InVS en Région Antilles Guyane, Fort de France, <sup>2</sup> Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique, Rennes, <sup>3</sup> Institut de Veille Sanitaire, Saint Maurice, <sup>4</sup> Madininair, Fort de France

Le lien entre pollution atmosphérique et santé est établi de longue date et deux exemples historiques suffisent à le montrer : les premières alertes à la pollution dans la vallée de la Meuse en 1930 et l'épisode de pollution survenu à Londres en 1952 et qui provoqua un excès de 4000 décès.

Depuis, le renforcement de la réglementation a entraîné une baisse conséquente des niveaux de pollution dans les pays développés. Cependant, selon l'OMS, la pollution atmosphérique est encore à l'origine d'environ 2 millions de décès prématurés par an à l'échelle mondiale [1][2].

Les effets de la pollution atmosphérique sont classés en deux groupes :

- Les effets d'une exposition à court terme (manifestations cliniques, fonctionnelles ou biologiques aiguës survenant quelques jours à quelques semaines après l'exposition) : de nombreuses études montrent une augmentation de la mortalité, des hospitalisations ou des passages aux urgences pour causes respiratoires et cardiovasculaires en lien avec une augmentation de la pollution atmosphérique ;
- Les effets à long terme (responsabilité de l'exposition dans le développement de processus pathogènes au long cours qui peuvent conduire au final à un événement morbide ou même au décès) : les études sont beaucoup moins nombreuses et tendent à montrer des augmentations de risque de développer un cancer du poumon ou une maladie cardio-pulmonaire (infarctus du myocarde, broncho-pneumopathie chronique obstructive, asthme....).

Depuis les années 1990, de nouveaux outils de mesure de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique ont été développés et, en 1997, a été créé en France le Programme de Surveillance Air et Santé coordonné par l'InVS en application de la Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie (LAURE) [3]. L'objectif de ce pro-

gramme est, notamment, d'étudier les risques sanitaires associés à l'exposition à la pollution atmosphérique et de permettre la réalisation d'évaluations d'impacts sanitaires (EIS) de cette pollution à l'échelle locale. Ce programme dit PSAS-9 est actuellement implanté dans neuf villes françaises (Bordeaux, Le Havre, Lille, Lyon, Marseille, Paris, Rouen, Strasbourg et Toulouse) ; il est envisagé de le développer et la question de l'étendre en Outre Mer est posée.

En Martinique, l'association agréée pour la surveillance de la qualité de l'air, Madininair qui est chargée, en particulier, de procéder aux mesures de la qualité de l'air, vient récemment de fêter son dixième anniversaire et produit, depuis une décennie, des données sur l'air. Ces données sont interprétées en temps réel en fonction des normes réglementaires et participent au calcul de l'indice Atmo, outil de communication de la qualité de l'air vers le grand public. En fonction des résultats enregistrés, des messages sanitaires sont diffusés, mais jamais aucune étude n'a été réalisée pour apprécier l'impact de la pollution atmosphérique à la Martinique.

Dans ce contexte, la Cire Antilles-Guyane a engagé en 2011 une étude visant à répondre aux deux questions suivantes :

- Les données disponibles pourraient-elles permettre à une ville martiniquaise d'intégrer le programme PSAS, en particulier dans les études de séries temporelles reliant statistiquement événements de santé et pollution journalière ?
- Les données disponibles permettent-elles d'évaluer l'impact sanitaire à court terme de la pollution atmosphérique en Martinique, en particulier peut-on quantifier un excès de décès attribuables à la pollution atmosphérique ?

## 1/ MATERIELS ET METHODES

Pour répondre à ces deux questions, il a fallu procéder au recueil et à l'expertise des données disponibles tant sur le plan environnemental que sur le plan sanitaire.

La démarche suivie s'est appuyée sur le guide d'évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine édité par l'InVS [4], ainsi que sur les protocoles de recueil des données utilisés par le PSAS.

En particulier, les critères pris en compte pour définir la zone d'étude ont été la période et la zone géographique de disponibilités des données, l'homogénéité de la zone en terme de relief et de densité de population, la qualité des données de qualité de l'air, la possibilité de disposer des données météorologiques caractéristiques de la zone, la démographie de la zone, l'existence de données de mortalité.

## 2/ RESULTATS

### 2.1./ Zone d'étude

La pollution doit pouvoir être considérée comme homogène sur la zone d'étude. Pour cela, la zone d'étude doit correspondre à une agglomération relativement dense, au relief régulier, pourvue des dispositifs de mesure de la qualité de l'air et de stations météorologiques. La seule zone qui réponde à ces critères est l'agglomération de Fort de France, Lamentin, Schoelcher. La commune de Saint Joseph, qui appartient pourtant à la Communauté d'Agglomération du Centre de la Martinique (CACEM) n'a pas été incluse dans cette zone pour plusieurs raisons :

- Aucune station de mesure de la qualité de l'air n'y est implantée ;
- La commune est essentiellement agricole et ne présente pas la même densité de population que les autres communes ;
- Le relief y est plus tourmenté et le climat est certainement moins homogène que dans le reste de la zone.

La zone d'étude retenue a une population de 150 746 habitants (recensement Insee 2007) pour une superficie de 127 km<sup>2</sup>. La majorité (88%) des déplacements domicile-travail s'effectue à l'intérieur même de la zone.

Plusieurs usines importantes (raffinerie, incinérateur d'ordures ménagères, centrale thermique) sont établies dans la zone, et leurs rejets dans l'atmosphère sont principalement dirigés vers la mer du fait de leur emplacement en bordure du littoral Caraïbe et de l'orientation des vents qui viennent le plus souvent d'Est. Néanmoins certains sont implantés en milieu urbain dense.

La zone est traversée par plusieurs axes routiers importants : l'auto-route A1, les nationales RN1, RN2 et RN5, la rocade de Fort de France.

La zone est équipée de 2 stations météorologiques et de 8 stations de mesures de la qualité de l'air.

### 2.2. / Période d'étude

Les données de qualité de l'air sont enregistrées depuis 2001 et sont disponibles quasiment en temps réel. Néanmoins ce n'est qu'à partir de 2003 que la totalité des stations a été rendue opérationnelle sur l'ensemble de la zone d'étude. Le point de départ de l'étude a donc été fixé au 1<sup>er</sup> janvier 2003.

Les données sanitaires utilisées ont été les données de mortalité par cause de décès selon la classification internationale des maladies

(CIM 10<sup>ème</sup> édition). La validation de ces données est effectuée par l'Inserm (Centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès, CépiDc) et les dernières données disponibles au moment de l'étude étaient celles de l'année 2008.

La période de l'étude a donc été fixée du 1<sup>er</sup> janvier 2003 au 31 décembre 2008.

### 2.3. / Données météorologiques

Dans la zone d'étude, deux stations météorologiques sont complètes en termes de paramètres mesurés. La station de Desaix est une station implantée dans un tissu urbain, elle est influencée par les activités de la population. La station de l'aéroport du Lamentin est établie dans un environnement plus dégagé. Les résultats des deux stations sont très bien corrélés mais sur les conseils des responsables de Météo France, c'est la station du Lamentin qui a été retenue.

Sur la période d'étude, la température moyenne était de 27 °C avec un maximum de 35°C et un minimum de 17°C. Les précipitations annuelles sont en moyenne de 2127 mm, l'humidité moyenne est de 76% et la durée moyenne annuelle d'insolation est de 2 384 heures.

Les vents dominants sont de secteur Est. Le vent est faible, inférieur à 1,5 m/s, pendant 16% du temps. Il souffle à plus de 4,5 m/s pendant plus de 45% du temps, ce qui favorise la dispersion des polluants.

### 2.4. / Données de qualité de l'air

La zone, telle qu'elle a été définie, comporte 8 stations fixes de mesure gérées par Madininair. Les deux stations trafic et la station industrielle n'ont pas été prises en compte dans cette étude qui s'intéresse à la pollution "de fond". Les cinq stations prises en compte sont présentées dans le tableau 1.

Les polluants pris en compte a priori sont le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), l'ozone (O<sub>3</sub>), les poussières de diamètre aérodynamique inférieur à 10 micromètres (PM10), les poussières de diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 micromètres (PM<sub>2,5</sub>).

Le dioxyde d'azote est mesuré sur les cinq stations. Les résultats des mesures sur les quatre stations urbaines sont mal corrélés entre eux avec un coefficient de corrélation inférieur à 0,6 ce qui montre que l'exposition n'est pas uniforme dans la zone. Aussi, le NO<sub>2</sub> n'a pas été retenu dans la suite de l'étude.

Par ailleurs, les niveaux de NO<sub>2</sub> enregistrés sont plutôt faibles sur toutes ces stations urbaines de fond avec des concentrations moyennes annuelles comprises entre 10 et 20 µg/m<sup>3</sup>, inférieures à l'objectif de qualité de 40 µg/m<sup>3</sup> en moyenne sur une année civile.

L'ozone est mesuré sur deux stations qui sont bien corrélées et dont les valeurs mesurées sont très proches. L'ozone est un polluant dit "secondaire" ; en effet, il résulte de la transformation photochimique dans l'atmosphère de certains polluants dit primaires (oxydes d'azote, composés organiques volatils). La météorologie de la Martinique avec des alizés qui dispersent rapidement les polluants primaires fait que le département est peu concerné par l'ozone. De fait, les valeurs enregistrées sur les stations de mesure sont faibles : les maxima journaliers des moyennes sur 8 heures sont toujours inférieurs à 90 µg/m<sup>3</sup> sur la période de l'étude et donc respectent l'objectif de qualité de l'OMS de 100µg/m<sup>3</sup>.

## | Tableau 1 |

Les stations urbaines de fond et périurbaine de mesure de la qualité de l'air dans l'agglomération de Fort de France

Nom de la station	emplacement	Début des mesures	Types de stations	Polluants - technique de mesure
Musée d'histoire	Musée Régional d'Histoire Boulevard Général de Gaulle Fort de France	Depuis le 7/12/2000	Urbaine de fond	NO <sub>2</sub> - chimiluminescence PM <sub>10</sub> - microbalance oscillante (TEOM) O <sub>3</sub> - absorption UV. SO <sub>2</sub> - fluorescence UV
Avenue Maurice Bishop	Avenue Maurice Bishop Fort de France	Depuis le 27/02/2003	Urbaine de fond	NO <sub>2</sub> - chimiluminescence PM <sub>10</sub> - microbalance oscillante (TEOM) PM <sub>2,5</sub> - microbalance oscillante (TEOM)
Lamentin Bas Mission	Quartier Bas Mission Lamentin	Depuis le 2/04/2003	Urbaine de fond	NO <sub>2</sub> - chimiluminescence PM <sub>10</sub> - microbalance oscillante (TEOM)
Bourg de Schoelcher	Route de l'Université Schoelcher	Depuis le 1/04/2003	Urbaine de fond	NO <sub>2</sub> - chimiluminescence PM <sub>10</sub> - microbalance oscillante (TEOM)
Lycée Schoelcher	Lycée Schoelcher Fort de France	Depuis le 8/12/2000	Périurbaine	NO <sub>2</sub> - chimiluminescence O <sub>3</sub> - absorption UV.

Les PM10 sont mesurées sur quatre stations. Les niveaux enregistrés sur chacune des stations sont très proches et très bien corrélés (coefficients de corrélation supérieure à 0,9). Les valeurs observées sont généralement faibles puisque la médiane des concentrations journalières moyennes est inférieure à 30 µg/m<sup>3</sup> sur toutes les stations pendant toute la période d'étude. Cependant des pics sont enregistrés notamment lors d'épisodes de brumes de sable ou de pics de circulation ponctuels denses et les niveaux atteints peuvent être particulièrement élevés : les maxima des concentrations moyennes journalières dépassent 150 µg/m<sup>3</sup> sur chacune des quatre stations. Au final, la valeur de référence de l'OMS qui est de 50 µg/m<sup>3</sup> est dépassée pendant 107 jours pendant la période d'étude soit 9 % du temps.

Les PM<sub>2,5</sub> ne sont mesurées que sur une station. Les valeurs mesurées sont le plus souvent faibles avec une médiane des concentrations journalières moyennes à 13 µg/m<sup>3</sup>. Mais, comme pour les PM10, des pics sont enregistrés et la valeur guide de l'OMS de 25 µg/m<sup>3</sup> est dépassée pendant 4% du temps.

Les indicateurs de qualité de l'air qui ont été retenus sont présentés dans le tableau 2.

## | Tableau 2 |

Distribution des indicateurs de qualité de l'air retenus dans l'étude, agglomération de Fort de France, 2003-2008

Indicateur d'exposition	O <sub>3</sub>	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>
<b>Nombre de valeurs manquantes</b>	41	248	21
<b>Minimum</b>	µg/m <sup>3</sup> 11	5	10
<b>Percentile 5</b>	µg/m <sup>3</sup> 19	9	15
<b>Percentile 25</b>	µg/m <sup>3</sup> 28	11	20
<b>Médiane</b>	µg/m <sup>3</sup> 34	13	24
<b>Percentile 75</b>	µg/m <sup>3</sup> 43	17	34
<b>Percentile 95</b>	µg/m <sup>3</sup> 57	24	62
<b>Maximum</b>	µg/m <sup>3</sup> 78	48	144
<b>Moyenne journalière</b>	µg/m <sup>3</sup> 36	14	29
<b>Ecart-type</b>	µg/m <sup>3</sup> 12	5	16

## 2.5. / Données sanitaires

Les données de mortalité par commune ont été obtenues auprès du Centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès (CépiDc). Les causes de décès sont enregistrées par référence à la Classification Internationale des Maladies (CIM 10<sup>ème</sup> édition). Les données recueillies sont présentées dans le tableau 3. Le nombre journalier d'événements sanitaires est faible et seuls sont considérés les indicateurs suivants :

- le nombre journalier de décès de personnes domiciliées dans les trois communes de la zone d'étude quelle que soit la cause du décès hors accidents et morts violentes (code A00-R99) ;
- les mêmes données pour les décès dont la cause est cardio vasculaire.

## | Tableau 3 |

Nombre de décès dans la zone d'étude par types de causes, agglomération de Fort de France, 2003-2008

Mortalité	nombre annuel moyen de décès	nombre journalier moyen de décès
Toutes causes non accidentelles	911	2,5
Causes cardio-vasculaires	307	0,8
Causes respiratoires	55	0,2

## 2.6./ Relations exposition risque

Les relations exposition-risque permettent de caractériser le lien entre l'exposition à un polluant et la probabilité de survenue d'un événement de santé associé à ce polluant. L'idéal serait de disposer de relations établies dans la zone d'étude ou à partir d'études multicentriques menées dans des zones comparables à la zone d'étude. Ceci est rarement le cas et en particulier, pour la Martinique, il n'existe pas de relation exposition-risque pour la pollution atmosphérique.

Une étude bibliographique a donc été menée pour rechercher de telles relations dans des pays dont la position géographique, les conditions climatiques, le développement économique pouvaient se

rapprocher des conditions martiniquaises. Des études à Hong-Kong [5], Brisbane [6], Bangkok [7], Shanghai [8] ont été examinées mais aucune n'apparaît satisfaisante du fait de disparités importantes soit au niveau des polluants principaux, soit au niveau du mode de recueil et de traitement des données, soit au niveau environnemental : pas de relation exposition-risque pour les particules à Hong-Kong, niveau de poussières très faible à Brisbane, grande différence climatique, géographique, populationnelle et méthodologique pour les autres études.

Dans ce contexte, deux orientations ont été étudiées : définir une relation localement ou utiliser une relation définie en France métropolitaine.

- La première orientation revient en fait à répondre à la première des deux questions posées initialement. S'il est possible de définir localement une relation exposition-risque, alors, l'agglomération de Fort de France pourra intégrer le programme PSAS. La zone est assez homogène avec un continuum dans l'habitat, sans relief marqué, disposant de stations de mesures de la pollution atmosphérique et de stations météorologiques bien réparties ; l'ensemble des données sont de bonne qualité avec très peu de données manquantes, avec de bonnes corrélations entre les stations ; les données sanitaires sont disponibles et la majorité de la population résidant dans la zone d'étude travaille dans la zone d'étude. La seule difficulté, mais elle est incontournable, est celle de la petite taille de la population exposée, de l'ordre de 150 000 habitants. Ceci entraîne un nombre d'événements sanitaires journaliers trop faible pour pouvoir procéder aux analyses statistiques développées dans le cadre du plan PSAS-9 (2,5 décès journaliers en moyenne alors que les statisticiens fixent la limite autour de 5). Il n'est donc pas possible actuellement de définir une relation exposition-risque locale.
- La seconde orientation trouve sa légitimité dans le fait que le recueil des données s'effectue de la même manière en Martinique et en France métropolitaine (même appareil, même technique analytique, même traitement), que les normes sont les mêmes, que les relations entre les intervenants sont identiques. Les relations qui ont été utilisées pour estimer l'impact à court-terme de l'ozone et des PM sur la mortalité sont celles issues du programme PSAS-9.

### 3/ IMPACT SANITAIRE

Le calcul de l'impact sanitaire a été effectué à l'aide du logiciel EIS-PA 2.0 disponible sur le site de l'InVS et qui utilise les relations exposition-risque définies dans le cadre du PSAS-9. Ce calcul a été réalisé à titre indicatif puisque qu'il existe des incertitudes notamment liés à la transposition à la Martinique d'un risque estimé pour la France métropolitaine. Il faut donc considérer le résultat avec circonspection.

Il apparaît que l'impact sanitaire à court terme de l'ozone est négligeable. Ce résultat était prévisible compte tenu des faibles valeurs enregistrées pendant la période de l'étude.

L'impact des PM<sub>10</sub> est plus important et peut être quantifié : Le nombre de décès anticipés toutes causes, tous âges, attribuables à la pollution atmosphérique peut être estimé à 61 [30 – 88] de 2003 à 2008 sur la zone Fort de France Lamentin Schoelcher. Une diminution de 5% des niveaux annuels moyens aurait permis d'éviter 20 décès [10 – 28] sur la période.

L'impact des PM<sub>2,5</sub> est moindre et l'impact des PM<sub>10</sub> ci-dessus peut être considéré comme une approche du nombre global de décès attribuables à la pollution atmosphérique dans l'agglomération de Fort de France.

## 4/ DISCUSSION

Cette étude est la première du genre en Martinique. Le premier résultat est que la surveillance de la qualité de l'air développée depuis 10 ans par Madinair produit des données tout à fait utilisables pour mener une étude d'impact sanitaire. Les données météorologiques et sanitaires sont également de bonne qualité.

Le choix de la zone d'étude, l'agglomération de Fort de France – Lamentin – Schoelcher apparaît également pertinent sur le plan de l'urbanisation, des sources de pollution, des déplacements interurbains, du relief, de la géographie.

Le deuxième élément important apporté par cette étude est que le nombre d'événements sanitaires est trop faible sur la zone pour que l'analyse statistique des données telle qu'elle a été développée dans le programme PSAS puisse être menée à bien. Il est donc nécessaire de poursuivre la réflexion pour définir des relations exposition-risque qui soient applicables à la Martinique : soit en recherchant des relations établies ailleurs dans le monde mais qui seraient compatibles avec le contexte martiniquais au sens large, soit en poussant l'analyse statistique des données locales grâce à de nouveaux outils.

La troisième notion est que la préoccupation principale en matière de pollution atmosphérique dans la zone d'étude concerne le niveau des poussières. Ces particules en suspension peuvent provenir de la combustion de matières fossiles, du transport automobile, de l'incinération, etc. En Martinique, les brumes de sable sahariennes contribuent également aux pics de pollution aux PM<sub>10</sub>.

Le dernier résultat est que la pollution atmosphérique n'a certainement pas un impact sanitaire négligeable. Les calculs ont certes été menés à partir de relations exposition-risque qui ne sont pas strictement adaptées à la situation martiniquaise mais le choix opéré, d'utiliser les relations définies dans le cadre du programme PSAS, est légitime dans la mesure où les recherches bibliographiques engagées n'ont pas permis de déterminer des relations qui seraient mieux adaptées.

Avec ces réserves, l'impact sanitaire apparaît modéré avec une dizaine de décès anticipés en moyenne chaque année qui pourraient être attribués à la pollution atmosphérique dans l'agglomération de Fort de France. Ces chiffres doivent être regardés avec prudence et ne pas être considérés comme une vérité absolue. L'EIS n'a porté que sur les impacts à court terme de la pollution. Les impacts à long terme, en particulier des PM<sub>2,5</sub> pourraient être beaucoup plus importants. Enfin, en se concentrant sur la mortalité, l'EIS ne rend pas compte de l'ensemble des effets sanitaires de la pollution.

## 5/ CONCLUSION

Cette première étude sur la pollution atmosphérique en Martinique doit être considérée comme une étude exploratoire. Elle confirme le bien fondé d'une surveillance en continu et valide le dispositif mis en place par Madinair.

Elle montre que l'intégration immédiate du programme PSAS par l'agglomération de Fort de France n'est pas possible mais le travail déjà réalisé encourage à poursuivre la réflexion pour que des relations exposition-risque adaptées au contexte local soient définies.

Enfin, il apparaît que l'impact de la pollution de l'air sur l'agglomération de Fort de France est lié principalement à la teneur en poussières et qu'il n'est certainement pas négligeable. Il est probable que ce constat soit en contradiction avec la perception de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique dans une partie de la population.

## Références

1. Organisation mondiale de la santé. Pollution de l'air, Aide-mémoire n°313, [en ligne], [08/08] Disponible sur internet : <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/fr/>
2. Organisation mondiale de la santé. Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air : particules, ozone, dioxyde d'azote et dioxyde de soufre, [en ligne], Disponible sur internet : [http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO\\_SDE\\_PHE\\_OEH\\_06.02\\_fre.pdf](http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_fre.pdf)
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* 1<sup>er</sup> janvier 1997.
4. Programme de surveillance air et santé. Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine. Concepts et méthodes. Institut de veille sanitaire. Mars 2008.
5. 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.
6. SIMPSON RW., WILLIAM G. *et al.* Associations between outdoor air pollution and daily mortality Brisbane, Australia. *Arch Environ Health*. Nov-Dec 1997; n°52(6), pp.442-54.
7. VICHIT-VADAKAN, OSTRO B.D., CHESTNUT LG. Air pollution and respiratory symptoms: Results from three panel studies in Bangkok, Thailand, *Environnemental Health Perspectives*, June 2001, vol 109, suppl 3, pp.381-387.
8. KAN H. *et al.* Part 1. A Time-Series Study of Ambient Air Pollution and Daily Mortality in Shanghai, China. Department of Environmental Health, School of Public Health, Fudan University, Shanghai, China, n°154, Nov 2010.

Cette étude fait l'objet d'un rapport qui peut être obtenu sur simple demande auprès de la Cire Antilles Guyane :  
[ARS-Martinique-cire@ars.sante.fr](mailto:ARS-Martinique-cire@ars.sante.fr)

## | Les épisodes de brume de sable désertique en Martinique |

Carole Boullanger, Stéphane Gandar  
Madininair, Fort de France

Les îles des petites Antilles sont touchées périodiquement par des épisodes de brume de sable venant d'Afrique. Ces épisodes de brumes de sable désertiques véhiculent des particules fines, à l'origine d'une augmentation des particules inhalables par la population de ces îles.

Depuis 2001, Madininair, association agréée pour la surveillance de la qualité de l'air en Martinique, mesure les quantités de particules fines dans l'air, appelées PM10 (particules dont le diamètre est inférieur à 10µm). Ces particules sont issues de plusieurs sources : automobile, industrielle, brumes de sable désertiques, embruns marins, agriculture, ... En Martinique, les deux sources qui influencent principalement les concentrations de PM10 dans l'air sont les brumes de sable désertiques et l'activité du trafic routier.

Actuellement, Madininair dispose de cinq stations de mesure fixes qui mesurent en continu et en temps réel, les concentrations en PM10 dans l'air. Quatre de ces stations sont de type urbain de fond, c'est-à-dire qu'elles sont implantées en centre urbain : deux stations « Bishop » et « Musée », une dans celui du Lamentin (station « Lamentin ») et une dans le bourg de Schœlcher (station « Schœlcher »). Une de ces stations est de type trafic et est implantée à proximité de la Rocade de Fort de France (station « Renéville »).

Ainsi, depuis plus de dix ans, Madininair a pu constater le phénomène global de brumes de sable sur ces stations de mesure. En effet, lors d'un épisode de brumes de sable, une augmentation sensible des PM10 est observée sur l'ensemble du territoire martiniquais, les concentrations en PM10 dans l'air augmentant dans les mêmes proportions sur toutes les stations de mesure.

## 1/ LES PARTICULES FINES D'ORIGINE DESERTIQUE

### 1.1./ Origine

Les particules fines d'origine désertique proviennent essentiellement du désert du Sahara. Le Sahara est le nom donné à une région désertique de l'Afrique, située dans la partie Nord du continent africain. Considéré comme le plus vaste désert chaud du monde, il divise le continent du nord au sud. Il couvre d'immenses étendues de territoires et s'étend sur dix pays : le Maroc, l'Algérie, la Tunisie, la Libye, l'Égypte, le Soudan, le Tchad, le Niger, le Mali et la Mauritanie (Figure 1).

### | Figure 1 |

Carte géographique de l'Afrique et visualisation du Sahara



## 1.2./ Le transport

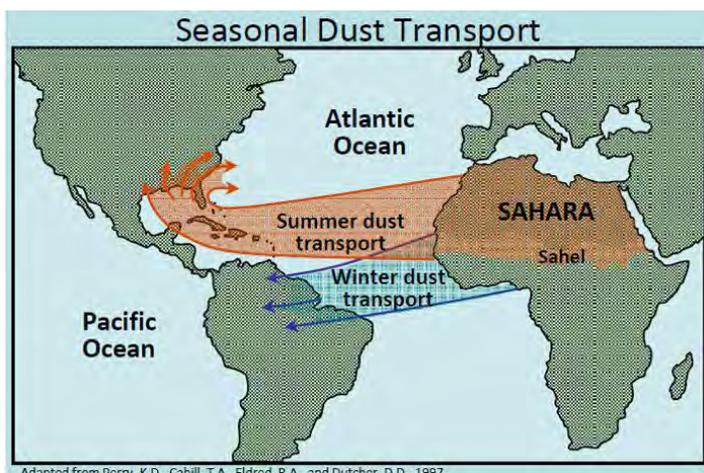
Le transport des particules se fait du désert africain vers les Antilles. Plusieurs conditions doivent être présentes pour permettre l'apparition de ces brumes de sable sur nos îles :

- La présence de dépressions thermiques au-dessus du désert du Sahara, durant l'été. Celles-ci sont à l'origine de vents turbulents et donc de la mise en suspension des particules.
- Ce n'est qu'au mois de mai à juillet que les flux des basses et moyennes couches de l'atmosphère s'orientent au secteur sud et permettent le transit des particules.

C'est durant l'été, quand la Zone InterTropicale de Convergence (ITCZ) est positionnée sur le Sahara et les Antilles, que les alizés «véhiculent» les nuages de particules sur l'archipel. Au niveau de cette zone, les masses d'air chaudes de l'hémisphère nord et de l'hémisphère sud convergent et s'élèvent en altitude entraînant les particules désertiques à haute altitude. Ces particules en suspension seront ainsi transportées sur de longues distances au-dessus de l'océan Atlantique vers les Antilles, à une altitude comprise entre 1500 et 6000m (Figure 2). Même si une partie de ce sable tombe en cours de route, la convection des basses couches atmosphériques suffit à maintenir une quantité importante de particules au-dessus de l'alizé humide.

### | Figure 2 |

Transport des poussières désertiques en fonction des saisons



## 1.3./ Chimie des particules désertiques

Le sable du Sahara est le résultat d'une abrasion progressive des roches pendant quelques milliers d'années. De ce fait, les particules sahariennes sont d'origine minérale, issues de ce mécanisme d'érosion. Le sable du Sahara est presque exclusivement formé de grains de quartz, oxyde de silicium, un des seuls minéraux à résister à l'usure. La plupart de ces cristaux de quartz sont recouverts d'une patine, en général de l'oxyde de fer, qui leur donne une teinte variant de l'ocre au rouge. Ce rouge est généralement d'autant plus intense que le sable est ancien.

L'observation d'un grain de sable au microscope apporte les informations sur sa forme, sa taille, sa composition minérale. Ainsi, il est possible de retracer l'origine de ce sable en fonction de ces observations. En effet, des études scientifiques ont montré que les particules désertiques ont une composition différente selon les régions du Sahara. Ainsi, l'analyse chimique poussée d'une particule permettrait de retrouver sa provenance.

## 2/ MESURE DES PARTICULES FINES EN MARTINIQUE

Madininair mesure, depuis plus de dix ans, les quantités de particules fines dans l'air sur le territoire de la Martinique à l'aide de stations de mesure fixes. Cette mesure continue permet d'avoir une concentration en temps réel des particules dont le diamètre est inférieur à 10µm (PM10). Cette mesure de suivi des concentrations, réglementaire et harmonisée au niveau européen, inclut la totalité des PM10 et ne permet pas de distinguer la part des particules naturelles (dont les particules désertiques) et la part des particules anthropiques, contrairement aux mesures nord-américaines, ciblées plus spécifiquement sur la composition chimique des particules.

### 2.1./ Technique de mesure



Actuellement, Madininair dispose de 5 stations de mesure fixes sur l'agglomération Fort-de-France, Lamentin, Schœlcher, mesurant les particules fines, PM10. Pour la mesure de ces poussières, les stations sont équipées d'une tête de prélèvement au sommet de la station et d'un analyseur à l'intérieur de la station, permettant la mesure en continu et en temps réel des concentrations en PM10. Les données recueillies par l'analyseur sont ensuite envoyées automatiquement sur un poste central à Madininair, par l'intermédiaire d'un modem.

#### 2.1.1./ Tête de prélèvement des PM10



La tête de prélèvement PM10 permet un échantillonnage représentatif des fractions de particules pouvant pénétrer dans le système respiratoire des bronches supérieures. Elle sépare les poussières selon leur granulométrie et ne sélectionne que les particules de diamètre inférieur à 10µm (PM10).

#### 2.1.2./ L'analyseur automatique PM10



L'analyseur PM10 mesure à température ambiante, la masse de particules dont le diamètre est inférieur à 10 microns.

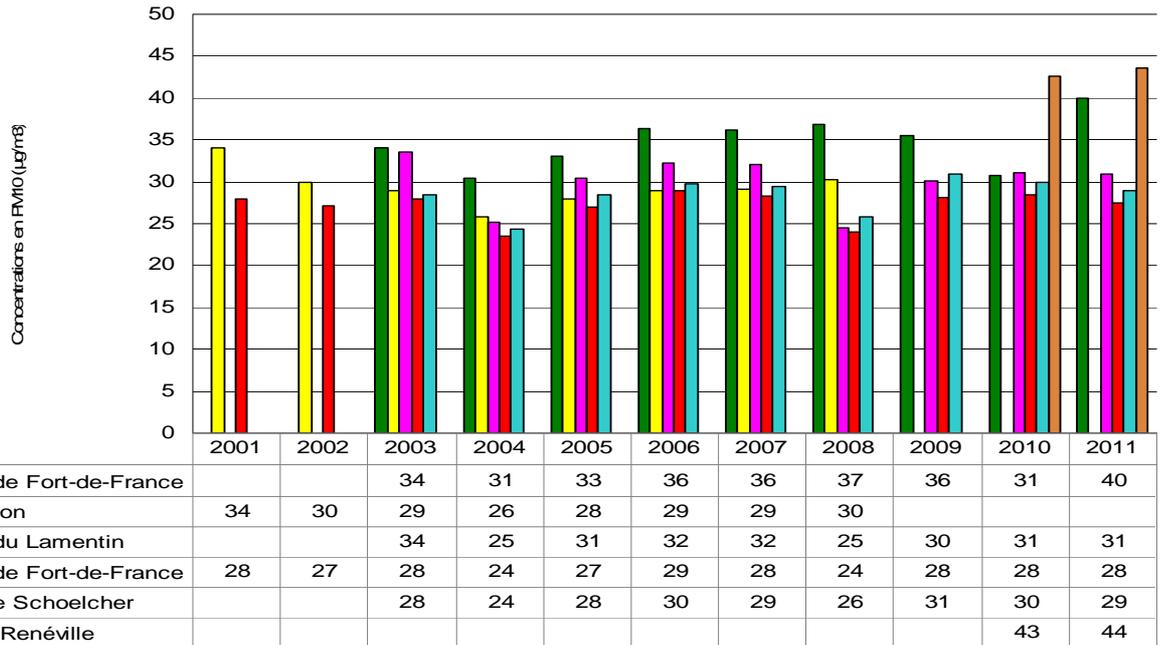
Dans le cœur de l'appareil, la technique utilisée est une microbalance à élément oscillant (TEOM), qui permet une mesure directe et en temps réel de la masse de particules collectées sur un filtre.

### 2.2./ Evolution des concentrations en PM10

Depuis 2001, les PM10 sont mesurées sur l'agglomération de Fort-de-France, Lamentin, Schœlcher, en centre-urbain et en zone trafic. Les concentrations en PM10 sont plus élevées sur les stations trafic (Dillon et Renéville) et sur la station urbaine de Fort-de-France « Bishop » située en centre-ville, à proximité de l'avenue à trafic dense de Maurice Bishop. Sur les stations urbaines de fond de Fort-de-France (Musée), Lamentin et Schœlcher, les concentrations sont plus faibles (Figure 3).

### | Figure 3 |

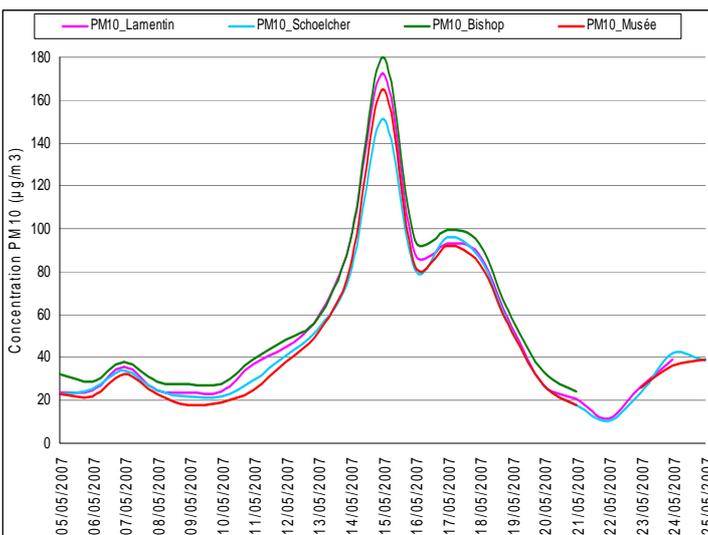
Concentrations moyennes annuelles en PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sur les stations fixes de Madinair de 2001 à 2011



Pour visualiser un épisode de brume de sable bien marqué et dense, l'expertise permet d'observer une évolution particulière des particules. En effet, ce phénomène étant homogène sur l'ensemble du territoire de la Martinique, les concentrations en PM10 augmentent en même temps, dans les mêmes proportions sur toutes les stations fixes. L'épisode de brume de sable record a été enregistré en 2007, la concentration moyenne journalière en PM10 a atteint une concentration maximale sur l'ensemble des stations le 15 mai 2007 (Figure 4).

### | Figure 4 |

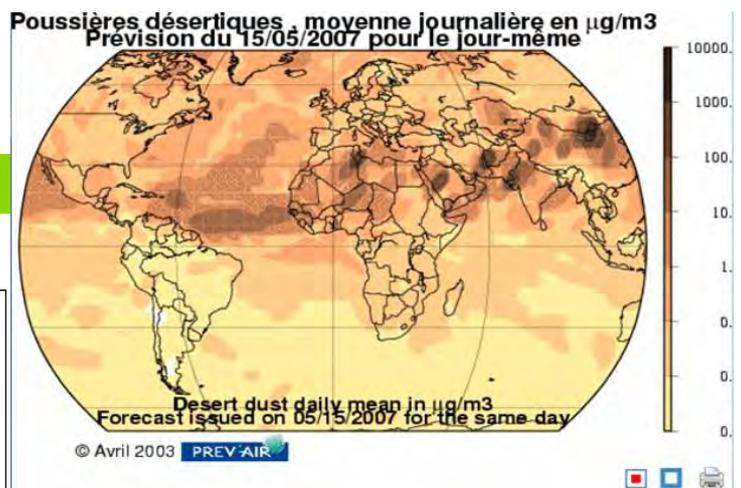
Evolution journalière des concentrations en PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) lors d'un épisode dense de brume de sable du 05 au 25 mai 2007



Des modèles globaux sur la dispersion des particules désertiques nous permettent également de visualiser l'arrivée d'un phénomène de brume de sable sur l'arc antillais. Cependant, ces modèles manquent de précision géographique et de précision sur la gamme des concentrations en PM10 (Figures 5 et 6).

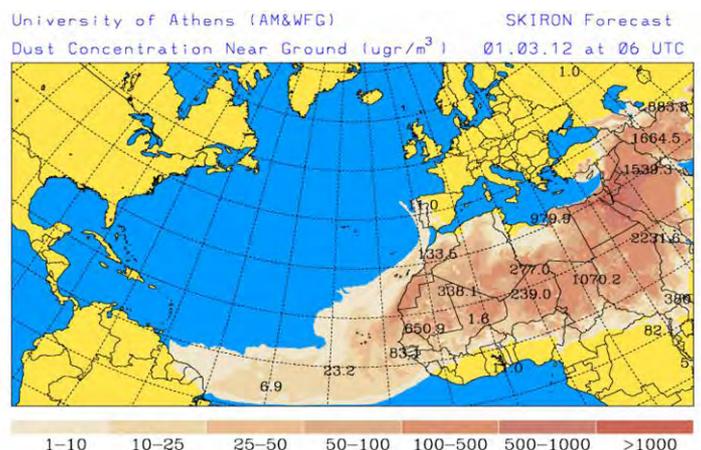
### | Figure 5 |

Exemple de la dispersion des poussières désertiques de l'épisode de brume de sable du 15/05/2007, visualisée sur le site : [http://www.prevoir.org/fr/prevision\\_pous\\_desert.php](http://www.prevoir.org/fr/prevision_pous_desert.php)



### | Figure 6 |

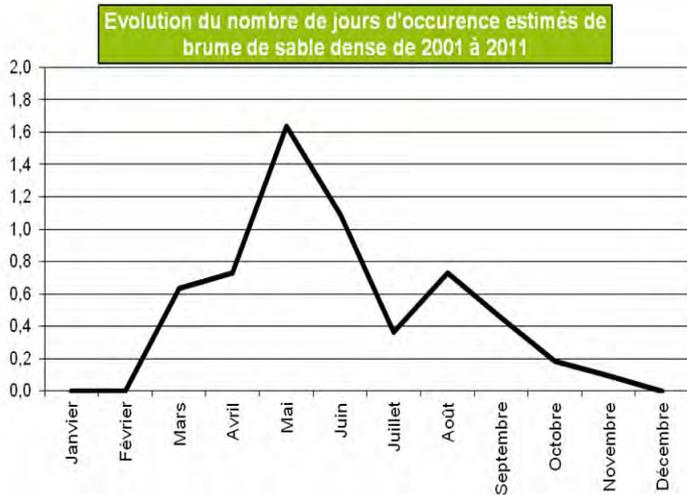
Exemple de la dispersion des poussières désertiques, visualisée sur le site : <http://forecast.uoa.gr/dustindx.php>



Ainsi, lors d'épisodes denses (concentrations enregistrées sur toutes les stations supérieures à  $80\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) enregistrés de 2001 à 2011, l'évolution du nombre de jours montre une occurrence, principalement au mois de mai (Figure 7).

### | Figure 7 |

Evolution du nombre de jours d'occurrence estimés de brume de sable dense de 2001 à 2011



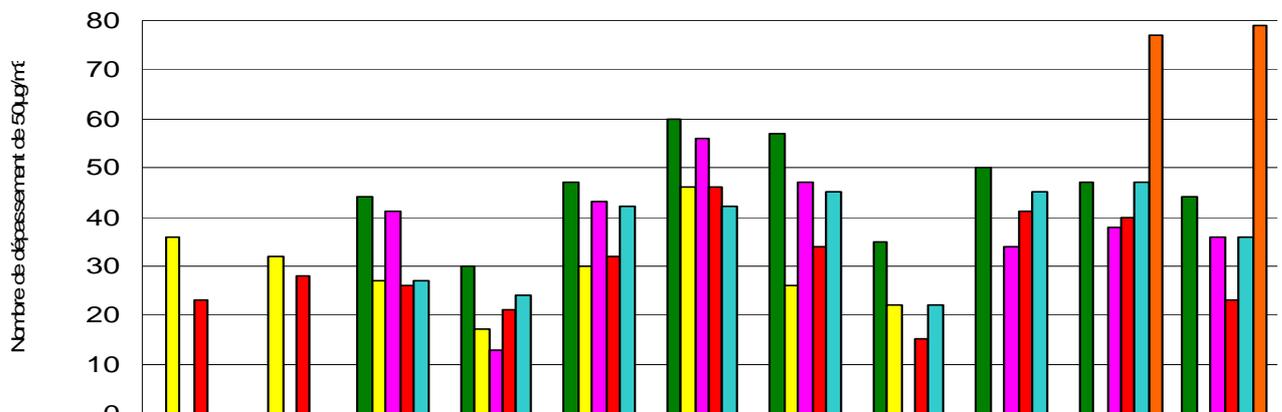
Lors d'épisodes particuliers légers à denses (concentrations enregistrées sur toutes les stations supérieures à  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) enregistrés de 2001 à 2011, l'évolution du nombre de jours montre une occurrence, principalement au mois de juin (Figure 8).

Quoi qu'il en soit, d'une manière très globale, les épisodes de brume de sable en Martinique semblent être plus nombreux au mois de juin, mais les épisodes les plus denses semblent se produire principalement au mois de mai.

Néanmoins, il s'agit ici d'une simple estimation car il est impossible de connaître sans analyse chimique la part véritable des brumes de sable sur des pics en PM10.

### | Figure 9 |

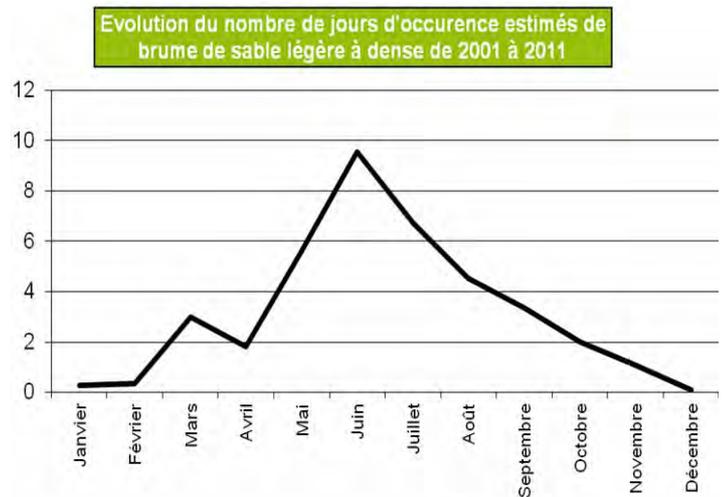
Nombre de jours de dépassements de la valeur limite journalière pour la protection de la santé pour les PM10, pour les stations fixes de Madinair de 2001 à 2011



	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
PM10_Bishop			44	30	47	60	57	35	50	47	44
PM10_Dillon	36	32	27	17	30	46	26	22			
PM10_Lamentin			41	13	43	56	47		34	38	36
PM10_Musée	23	28	26	21	32	46	34	15	41	40	23
PM10_Schoelcher			27	24	42	42	45	22	45	47	36
PM10_Renéville										77	79

### | Figure 8 |

Evolution du nombre de jours d'occurrence estimés de brume de sable léger à dense de 2001 à 2011



## 2.3./ Comparaisons aux normes environnementales

### 2.3.1./ Comparaison à la valeur limite journalière pour la protection de la santé de $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ (35 jours de dépassements autorisés par an)

Pour les PM10, la valeur limite journalière pour la protection de la santé est fixée, par la directive européenne 2008/50/CE, à  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  avec 35 jours de dépassement autorisés par an. Depuis 2001, les stations fixes de Madinair enregistrent des dépassements de cette valeur limite, avec un nombre de jours de dépassement plus élevé sur les stations de type trafic (Figure 9). Ainsi, le nombre de jour de dépassement de cette valeur limite n'est, clairement, pas totalement imputable aux particules issues des brumes de sable désertiques.

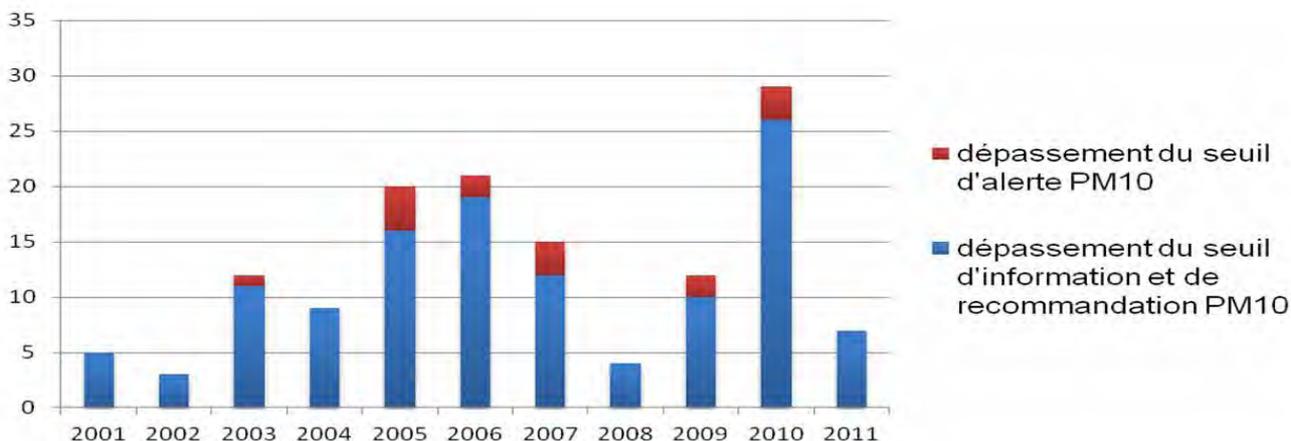
### 2.3.2./ Comparaison au seuil d'information et de recommandation de 80µg/m<sup>3</sup> au seuil d'alerte de 125µg/m<sup>3</sup>

Pour les PM10, le seuil d'information et de recommandation et le seuil d'alerte sont fixés, par l'arrêté préfectoral, AP051784 du 14/06/05, à 80µg/m<sup>3</sup> et 125µg/m<sup>3</sup> respectivement. Ce seuil est calculé sur les concentrations moyennes des stations sur les 24 heures glissantes. Madininair est mandaté par la préfecture pour informer la population martiniquaise en cas de dépassements de ces seuils.

Depuis 2001, Madininair constate la mise en œuvre des procédures pour les dépassements du seuil d'information et de recommandation et depuis 2003, du seuil d'alerte. Une part de ces dépassements est imputable à des épisodes de brume de sable, sans que l'on puisse en déterminer la part exacte. Le peu de données et la faible série temporelle à l'échelle d'une vie humaine ne permet pas de conclure statistiquement à une augmentation de ce phénomène. Cependant, depuis 2001, une tendance à l'accroissement des dépassements est observée, excepté pour les années 2008 et 2011, particulièrement pluvieuses (Figure 10).

## | Figure 10 |

Nombre de jours concernés par une procédure préfectorale



## 3/ CONCLUSION

Comme pour toutes les associations agréées pour la surveillance de la qualité de l'air, Madininair mesure les concentrations en particules fines, PM10 (particules dont le diamètre est inférieur à 10µm), en continu et en temps réel, à l'aide de stations de mesure fixes. Cette mesure a pour objectif, d'une part, de prévenir la population en cas de pic de pollution, lors de dépassements du seuil d'information et de recommandation et de dépassements du seuil d'alerte, et d'autre part, de comparer les mesures journalières et annuelles aux normes environnementales en vigueur.

Depuis 2001, Madininair enregistre des dépassements du seuil d'information et de recommandations et depuis 2003 du seuil d'alerte, pour les PM10. Par ailleurs, la valeur limite journalière pour la protection de la santé de 50µg/m<sup>3</sup> a été dépassée sur toutes les stations en 2006, 2009 et 2010, avec plus de 35 dépassements de cette valeur par an. Pour finir, la valeur limite annuelle pour la protection de la santé a été atteinte, pour la première année, en 2010 sur la station trafic de Renéville. Depuis quelques années, Madininair a pu observer une tendance à l'accroissement de ces dépassements.

En parallèle à ces mesures, la Martinique est soumise à des épisodes de brumes de sable désertiques connus et observés, contribuant certainement à une augmentation des particules fines dans l'air et aux dépassements de ces seuils réglementaires, surtout sur certaines périodes bien marquées.

Cependant, actuellement, les méthodes de mesure de référence européennes, basées sur un suivi temporel des concentrations et très peu sur l'analyse chimique des particules, ne permettent pas de définir la part des particules issues de l'activité humaine, et la part, issue de sources naturelles telles que les poussières désertiques sur la concentration totale mesurée en particules.

Cela fait plusieurs années que Madininair souhaite développer des partenariats nationaux permettant de répondre aux enjeux liés aux

particules. Pour avoir une meilleure connaissance de la part naturelle des brumes de sable désertiques en Martinique, Madininair a sollicité sa participation à une étude sur la Caractérisation Chimique des particules fines, le projet CARA, menée par le Laboratoire Central de la Surveillance de la Qualité de l'Air (LCSQA). Cette étude a pour objectif, sur la région Martinique, de réaliser une spéciation chimique des particules, et ainsi de connaître la part des particules d'origine désertique.

Pour aller plus loin encore sur cette étude et pour répondre à la directive européenne 2008/50/CE qui oblige d'une part à une estimation de la part naturelle sur la mesure de particules, mais qui oblige également à estimer le nombre de population touchée par les épisodes de pics en particules, Madininair projette de mettre en place une station de mesure « brume » destinée à mesurer de la manière la plus exhaustive possible, la contribution des particules désertiques transfrontalières. Cette station serait située sur la côte Atlantique, loin de toutes sources anthropiques potentielles, et mesurerait en continu et en temps réel, les concentrations en PM10, mais permettrait également de réaliser des analyses chimiques en continu pour mieux comprendre le phénomène. Cette étude aurait pour objectif final de définir, lors d'un dépassement des seuils ou de la valeur limite, la part imputable aux particules désertiques transfrontalières.

Par ailleurs, depuis plusieurs années, les Etats-Unis travaillent sur le sujet des épisodes de brume de sable dans les Antilles. Une telle station, mesurant les concentrations en PM10 et leur caractéristique chimique, a été mise en place sur la côte Est de l'île de Barbade, pour mesurer et étudier les particules issues du désert Africain.

Le seuil d'information et recommandation et le seuil d'alerte ont été abaissés pour les particules fines inférieures à 10 µm (PM10) respectivement à 50 et 80 µg/m<sup>3</sup> (au lieu de 80 et 125 µg/m<sup>3</sup>), par décret du 21 octobre 2010 afin de correspondre aux valeurs limites en vigueur.

Afin de s'adapter à cette évolution réglementaire des normes et de s'assurer d'une cohérence dans les informations délivrées auprès du public, un ajustement des nouveaux seuils PM10 à l'échelle de l'indice ATMO établie pour ce polluant a été opéré.

Néanmoins, cette évolution des seuils devrait multiplier par 3 au minimum le nombre de déclenchements des procédures sur les particules et donner plus de poids aux dépassements ponctuels liés au trafic automobile.

## | Effets sanitaires des brumes de sable désertique à la Martinique, 2001-2006 |

Alain Bateau<sup>1</sup>, Dominique Bouopda<sup>2</sup>, Alain Le Terre<sup>3</sup>, Stéphane Gandar<sup>4</sup>, Philippe Quénel<sup>1,5</sup>

<sup>1</sup> Cellule de l'InVS en Région Antilles Guyane, Fort de France, <sup>2</sup> Centre Hospitalier Hôtel Dieu, Pont l'Abbé, <sup>3</sup> Institut de Veille Sanitaire, Saint Maurice, <sup>4</sup> Madininair, Fort de France, <sup>5</sup> Institut Pasteur de la Guyane, Cayenne

La Martinique comme les autres îles de la Caraïbe est périodiquement soumise à des épisodes de brumes de sable en provenance des déserts africains. Ces épisodes se répètent plusieurs fois dans l'année et peuvent durer plusieurs jours consécutifs.

De nombreuses études épidémiologiques ont mis en évidence des associations à court terme entre les niveaux ambiants de particules et la survenue de différents effets sanitaires, comme une augmentation de la mortalité, des admissions hospitalières, de la prise de médicaments et des consultations médicales, des réactions inflammatoires pulmonaires et la survenue de symptômes respiratoires. Ces effets concernent l'appareil respiratoire mais également l'appareil cardiovasculaire.

Cependant ces études concernent essentiellement les particules observées en milieu urbain et dont l'origine est avant tout les rejets des automobiles, en particulier les véhicules diesel. Concernant les particules en lien avec les épisodes de brume de sable désertique, peu d'études ont été menées sur le sujet. Or, la population martiniquaise, exposée régulièrement à ces poussières d'origine désertique, ainsi que les media et les autorités sanitaires s'interrogent sur les conséquences sanitaires de tels phénomènes.

Le phénomène de brumes de sables conduit à une augmentation des particules en suspension dont certaines sont régulièrement mesurées par les associations de surveillance de la qualité de l'air (Madininair en Martinique). Le paramètre PM10 est le plus utilisé pour caractériser ces particules, il correspond à la masse des particules présentes dans 1 m<sup>3</sup> d'air et dont le diamètre est inférieur à 10 micromètres. Ainsi, la disponibilité de niveaux journaliers de PM10 enregistrés par le réseau de mesure de Madininair et de données journalières d'hospitalisation au travers des PMSI (Programme de Médicalisation des Systèmes d'Information) des hôpitaux a permis de conduire une étude sur le sujet. Celle-ci a été menée par la Cire AG et Madininair, avec le soutien de l'InVS.

### 1/ OBJECTIFS

L'objectif de l'étude était de mettre en évidence une relation éventuelle entre la survenue de brumes de sable d'origine désertique et une augmentation des admissions à l'hôpital pour pathologies respiratoires et/ou cardio-vasculaires dans l'agglomération de Fort-de-France.

### 2/ MATERIELS ET METHODES

Une étude écologique temporelle, rétrospective, a porté sur une période de 6 ans, du 1<sup>er</sup> janvier 2001 au 31 décembre 2006. Elle a porté sur la population de l'agglomération de Fort de France (communes de Fort de France, Lamentin et Schoelcher) dont la population était en 2006 de 151613 habitants.

Les niveaux de PM10 sont mesurés en continu et en temps réel par Madininair dans l'agglomération de Fort de France. Le réseau a commencé à fonctionner en 2000 avec l'implantation de deux stations de mesure dans le centre urbain de Fort de France dont une

de PM10, puis a été densifié notamment en 2003 par la mise en place de stations de mesures sur le Lamentin et Schœlcher. Ainsi, le nombre de stations de mesure a varié pendant la période d'étude de 1 à 5. Le taux de données manquantes est, pour toutes les stations, inférieur à 5,6% et le coefficient de corrélation entre les stations deux à deux est supérieur à 0,96 sur les moyennes journalières. L'indicateur d'exposition retenu a donc été la moyenne arithmétique des moyennes journalières des stations de mesure en fonctionnement. Les valeurs élevées de cette moyenne correspondent a priori à des épisodes de brumes de sable d'origine désertique, phénomènes ayant une durée de un à plusieurs jours, même si ce n'est pas systématique, alors que les épisodes de pollution automobile entraînent plutôt des pics de faible durée.

Les données sanitaires proviennent des deux centres hospitaliers publics de l'agglomération : le CHU de Fort de France et le CH du Lamentin. Le logiciel Epi-PMSI (Institut de Veille Sanitaire, 12 rue du Val d'Osne, 94415 Saint Maurice) a permis d'extraire des bases de données du PMSI de chacun des établissements, le nombre journalier des hospitalisations pour diagnostic principal ou diagnostic associé correspondant aux codes suivants de la classification internationale des maladies (CIM10) :

- Pathologies respiratoires : J00 à J99 dont :
  - Asthme : J45-J46
  - Broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO) : J40 à J44
- Pathologies cardiovasculaires dont :
  - Pathologie cardiaque ischémique aiguë : I20 à I24
  - Pathologie cardiaque : I00 à I52
  - Pathologie cérébrovasculaire : I60 à I64

La corrélation à court terme entre les séries temporelles journalières de pollution atmosphérique et d'admissions hospitalières a été étudiée à l'aide d'un modèle de régression de Poisson en contrôlant une possible sur-dispersion. Les facteurs de confusion ont été définis a priori et incluaient les variations saisonnières et de long terme, les jours de la semaine et deux termes de températures pour capturer un éventuel effet immédiat (le jour même) et décalé (de 1 à 3 jours) sur les hospitalisations. Un modèle additif généralisé (GAM), utilisant des splines de régression pénalisées, a permis d'ajuster les effets non-linéaires des variations saisonnières et des variables météorologiques. L'ensemble des analyses a été réalisé sous R[1] avec le package MGCV[2].

### 3/ RESULTATS

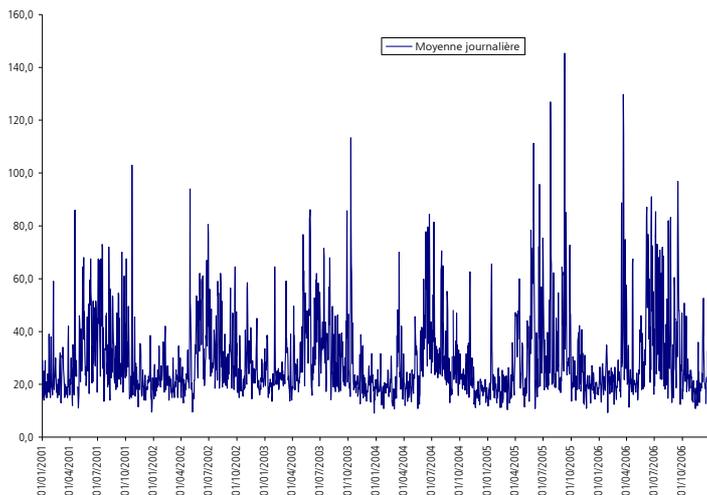
La durée de l'étude est de 2191 jours.

#### 3.1./ Présentation des données de qualité de l'air

Le graphe 1 présente la moyenne des niveaux moyens journaliers en PM10 relevés sur l'ensemble des stations de mesure de l'agglomération de Fort de France, pour la période 2001-2006.

## | Figure 1 |

Moyennes journalières en PM10 – Agglomération de Fort de France – Janvier 2001-Décembre 2006



Sur cette période, les données des niveaux de particules sont manquantes pour 5 jours et la moyenne des moyennes journalières des PM10 est de 29,2 µg/m<sup>3</sup>.

La distribution des valeurs de PM10 est présentée dans le tableau 1.

Sur l'ensemble de la période, le nombre de jours concernés par le déclenchement d'une procédure d'information et de recommanda-

## | Tableau 1 |

Distribution des moyennes journalières en PM10 – Agglomération de Fort de France – Janvier 2001-Décembre 2006

Percentile	Moyenne journalière (µg/m <sup>3</sup> )
Minimum	9,1
Percentile 5	14,9
Percentile 25	19,0
Médiane	23,7
Percentile 75	34,5
Percentile 95	61,3
Percentile 99	83,9
Maximum	145,4

tion (plus de 80µg/m<sup>3</sup> en moyenne sur 24 heures glissantes sur les stations urbaines) est de 63 et le nombre de jours concernés par le déclenchement d'une procédure d'alerte (plus de 125µg/m<sup>3</sup> en moyenne sur 24 heures glissantes sur les stations urbaines) est de 7. Le tableau 2 précise pour chaque année, ce nombre de procédures.

## | Tableau 2 |

Fréquence annuelle de dépassement des seuils – Agglomération de Fort de France – Janvier 2001-Décembre 2006

Limites réglementaires	Valeur (µg/m <sup>3</sup> )	Nombre de jours concernés par le déclenchement d'une procédure					
		2001	2002	2003	2004	2005	2006
Valeur limite à ne pas dépasser plus de 35j par an (moyenne des stations)	50	37	33	33	25	42	50
Procédure d'information et de recommandation	80	5	3	11	9	16	19
Procédure d'alerte	125	0	0	1	0	4	2

## 3.2./ Présentation des données sanitaires

Les données sanitaires extraites du PMSI du 1<sup>er</sup> janvier 2001 au 31 décembre 2006 sont présentées dans le tableau 3.

Le faible nombre journalier d'évènements sanitaires enregistrés sur la zone d'étude a conduit à restreindre l'analyse aux indicateurs concernant les pathologies les plus fréquentes : toutes pathologies respiratoires et pathologies cardiaques.

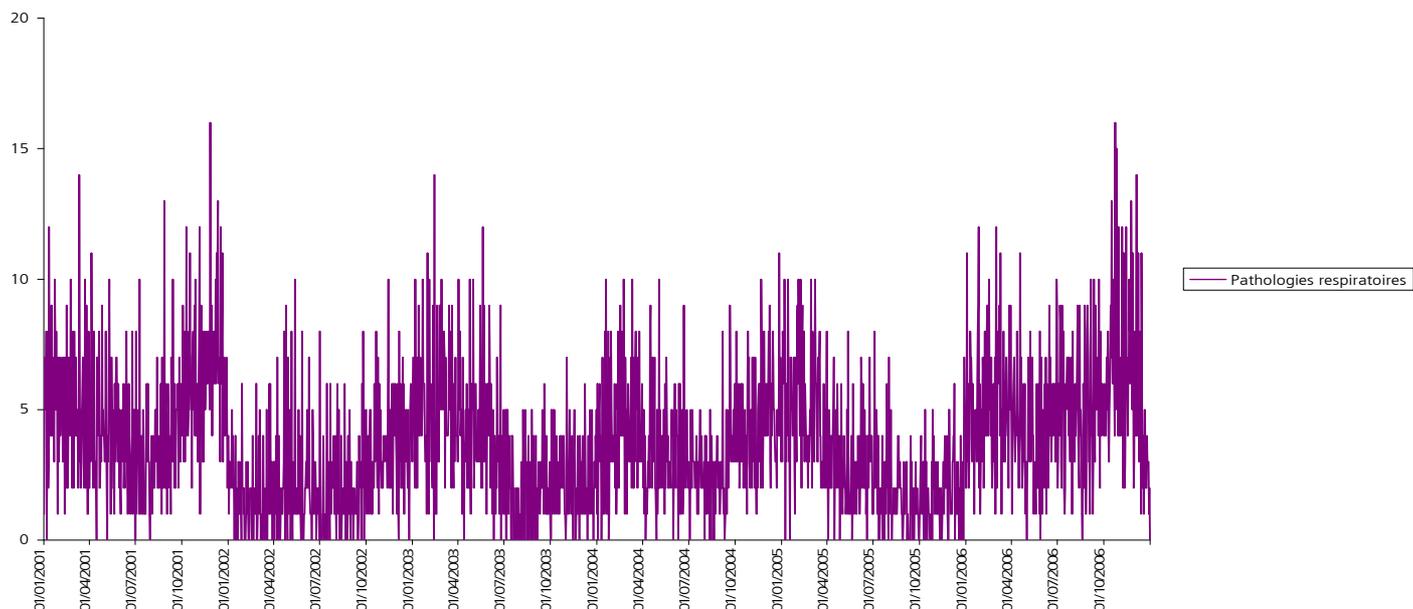
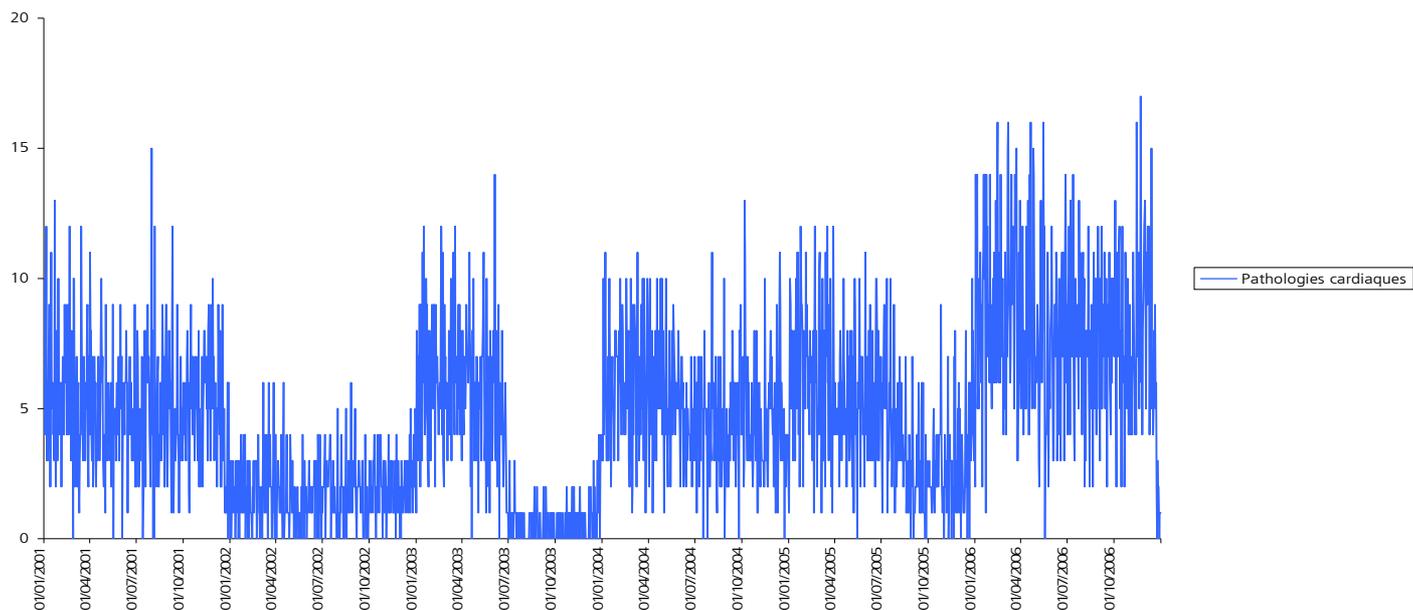
## | Tableau 3 |

Nombre d'hospitalisations par motifs d'hospitalisation – Agglomération de Fort de France – Janvier 2001-Décembre 2006

Motifs d'hospitalisation	Nombre total d'évènements	Moyenne journalière
<b>Pathologies respiratoires</b>		
Toutes pathologies respiratoires : J00 à J99	8274	3,78
Asthmes : J45-J46	1728	0,79
Broncho-pneumopathies chroniques obstructives : J40 à J44	255	0,12
<b>Pathologies cardiovasculaires</b>		
Pathologies cardiaques ischémiques aiguës : I20 à I24	1891	0,86
Pathologies cardiaques : I00 à I52	10085	4,60
Pathologies cérébrovasculaires : I60 à I64	3219	1,47

## | Figures 2.1 et 2.2 |

Nombre journalier d'événements sanitaires – Agglomération de Fort de France – Janvier 2001-Décembre 2006



## | Tableau 4 |

Distribution du nombre journalier d'événements sanitaires – Agglomération de Fort de France – Janvier 2001-Décembre 2006

Percentile	Nombre journalier d'hospitalisations pour	
	pathologies respiratoires	pathologies cardiaques
Minimum	0	0
Percentile 5	0	0
Percentile 25	2	2
Médiane	3	4
Percentile 75	5	7
Percentile 95	9	11
Percentile 99	11	14
Maximum	16	17

### 3.3./ Analyse des séries temporelles

Les données ont été analysées en considérant a priori un décalage de 1 jour entre les données de PM10 et les données sanitaires. D'autres décalages ont été testés a posteriori mais sans résultat intéressant (données non présentées).

Les données sanitaires prises en compte ont été les pathologies cardiaques tous âges, les pathologies cardiaques chez les person-

nes âgées de 65 ans et plus, les pathologies respiratoires tous âges et les pathologies respiratoires sans les asthmes et les broncho-pneumopathies chroniques obstructives. Le tableau 5 précise, pour chacun de ces groupes de pathologies, l'augmentation du risque relatif lorsque le niveau de concentration en PM10 passe de 20 à 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  et de 80 à 90  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

| Tableau 5 |

Augmentation du risque relatif des hospitalisations selon l'augmentation du niveau de PM10 – Agglomération de Fort de France – Janvier 2001-Décembre 2006

Motifs d'hospitalisation	Augmentation en % du risque relatif pour une augmentation des concentrations en PM10	
	de 20 à 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	de 80 à 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>Pathologies respiratoires</b>		
Toutes pathologies respiratoires	0,3 [-1,4 ; 2,1]	1,7 [-13,5 ; 19,6]
Toutes pathologies respiratoires sauf asthmes et BPCO	1,2 [-0,7 ; 3]	0,2 [-16,5 ; 20,3]
<b>Pathologies cardiovasculaires</b>		
Pathologies cardiaques	2,9 [0,9 ; 4,9]	2,8 [-10,5 ; 18,1]
Pathologies cardiaques chez les plus de 65 ans	3,5 [1,3 ; 5,8]	1,8 [-14,4 ; 21,1]

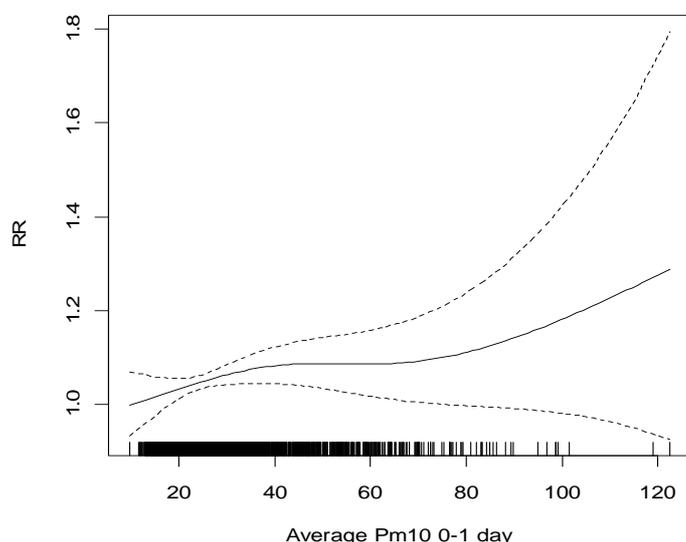
On observe de manière générale, une augmentation du risque d'hospitalisation avec le niveau de particules, même si ce risque n'est pas significatif globalement. L'incertitude observée pour les risques liés à une augmentation de 80 à 90  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  est le reflet du faible nombre de jours où ces niveaux sont atteints.

La relation entre les pathologies cardiaques et la concentration en PM10 mérite toutefois une attention particulière. En effet, lorsque la concentration en PM10 augmente de 80 à 90  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , le risque augmente autant, en pourcentage, que lorsque la concentration de PM10 passe de 20 à 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Si l'on considère que l'augmentation des concentrations en PM10 de 20 à 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  correspond essentiellement à des particules liées à la pollution automobile et que celle de 80 à 90  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  correspond surtout à des brumes de sable désertique, ce résultat conduirait à accorder en terme d'impact, autant d'importance aux brumes de sable qu'à la pollution automobile.

| Figure 3 |

Evolution du risque relatif en fonction des PM10 pour les hospitalisations pour pathologies cardiaques – Agglomération de Fort de France – Janvier 2001-Décembre 2006



### 4/ DISCUSSION

Cette étude est la première étude menée en Martinique visant à mettre en parallèle les données de qualité de l'air et des données sanitaires. Il apparaît que les données de pollution atmosphérique sont de bonne qualité avec peu de données manquantes et des données de PM10 bien corrélées entre les stations, traduisant une certaine homogénéité de l'exposition à la pollution atmosphérique de fond de la population de l'agglomération de Fort-de-France. Les données sanitaires sont de qualité plus discutable, en particulier les pathologies cardiaques pour lesquelles une sous déclaration apparaît évidente pendant une bonne partie de la période d'étude, notamment au deuxième semestre 2003 (Figure 2.1).

Malgré cela, pour ces pathologies, le risque relatif augmente de la même manière lorsque les PM10 passent de 20 à 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  et de 80 à 90  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , ce qui amène à penser qu'au niveau de l'impact sanitaire, les brumes de sable sont probablement aussi importantes en termes de risque sanitaire que la pollution automobile. Le fait que ce résultat ne soit pas statistiquement significatif est vraisemblablement dû à un manque de puissance (il y a peu d'événements sanitaires). Un résultat similaire a été obtenu à Chypre à l'issue d'une étude mettant en parallèle la morbidité respiratoire et cardiovasculaire et les poussières sahariennes [3]. En soi, ce résultat n'est pas étonnant puisque les effets à court terme des PM10 sur les hospitalisations pour pathologies cardiaques sont déjà bien connus [4][5].

Dans la région des Caraïbes, peu d'études ont été consacrées au sujet. Jusqu'à maintenant, les études réalisées dans les Antilles anglophones ont essentiellement considéré l'asthme comme indicateur sanitaire avec des résultats discordants : à Barbade, deux années d'étude en 1996-1997 n'ont pas permis de mettre en évidence un lien entre les brumes de sables mesurées par les PM10 et les consultations pédiatriques pour asthme à l'hôpital[6] ; à Trinidad, une relation a été mise en évidence entre les admissions aux urgences pédiatriques pour asthme et les nuages de poussières, évalués par la diminution de la visibilité [7]. Une revue de la littérature regrette que les autres effets respiratoires et les effets cardiovasculaires n'aient pas été étudiés dans la Caraïbe [8].

## 5/ CONCLUSION

Les résultats de cette étude suggèrent que les brumes de sable pourraient être à l'origine d'une augmentation des admissions à l'hôpital que ce soit pour causes cardiovasculaires ou respiratoires même si l'incertitude autour de ces dernières est forte, comme cela a déjà été décrit dans plusieurs endroits dans le monde.

Il serait souhaitable de reprendre cette étude avec des données actualisées de meilleure qualité :

- avec le passage à la tarification à l'activité dans les hôpitaux, les données du PMSI sont maintenant bien plus exhaustives que lors de la période de l'étude ;
- les services météorologiques suivent mieux maintenant les épisodes de poussières désertiques avec une vigie qui, chaque matin, note la présence ou non de brume de sable.
- les services de Madininair sont en constante relation avec le LCSQA (Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air) visant à l'amélioration des modèles de prévision de particules désertiques.

De plus, le problème des brumes de sable concernant tout l'arc antillais, il serait pertinent de mener une étude multicentrique sur plusieurs sites de la Caraïbe ce qui permettrait à la fois de mieux prendre en compte la diversité du phénomène étudié et augmenterait la puissance de l'étude. Pour cela, Madininair est en relation étroite avec les membres de l'IAI (Inter American Institute for global change Research) dans le cadre d'un projet "Caribbean Integrated Network for African Dust monitoring, alert and research".

Enfin et dans l'attente de résultats d'étude plus démonstratifs, il est légitime, en termes de gestion, d'appliquer le principe de précaution et de considérer les brumes de sables comme ayant le même impact sanitaire (en termes d'excès de risque) que les autres particules en suspension et de mettre en application les mesures de prévention selon les seuils prévus par la réglementation.

## Références

1. R: A language and environment for statistical computing [computer program]. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria; 2008.
2. Wood SN. Thin-plate regression splines. *J R Stat Soc [Ser B]* 2003;65:95-114.
3. Middleton N., Yiallourou P., Kleanthous S., Kolokotroni O., Schwartz J., Dockery DW., Demokritou P., Koutrakis P. A 10-year time-series analysis of respiratory and cardiovascular morbidity in Nicosia, Cyprus : the effect of short-term changes in air pollution and dust storms. *Environmental Health* 2008, 7:39
4. InVS. Programme de surveillance Air et santé (Psas). Relation à court terme entre les niveaux de pollution atmosphérique et les admissions à l'hôpital dans huit villes françaises. 69 p. 2006. Saint Maurice. Téléchargeable à l'adresse <http://www.invs.sante.fr/publications/2006/psas/psas.pdf>
5. Adème – InVS. Effets cardio-vasculaires de la pollution atmosphérique : mécanisme physiopathologiques. *Extrapol* n°32. Septembre 2007. Téléchargeable à l'adresse <http://www.invs.sante.fr/publications/extrapol/32/extrapol32.htm>
6. Prospero JM., Blades E., Naidu R., Mathison G., Thani H., Lavoie MC. Relationship between African dust carried in the Atlantic trade winds and surges in pediatric asthma attendances in the Caribbean. *International Journal of Biometeorology*. 2008, 52:823-832
7. Gyan K., Henry W., Lacaille S., Laloo A., Lamsee-Ebanks C., McKay S., Antoine RM., Monteil MA. African dust clouds are associated with increased paediatric asthma accident and emergency admissions on the Caribbean island of Trinidad. *International Journal of Biometeorology*. 2005, 49:371-376
8. Monteil MA. Saharian dust clouds and human health in the English-speaking Caribbean: what we know and don't know. *Environmental Geochemistry and Health*. 2008, 30:339-343

## | Echouage d'algues sargasses sur le littoral martiniquais en 2011 : évaluation des expositions humaines et mesures d'impact sanitaire |

Martine Ledrans<sup>1</sup>, Denis Alexis-Alphonse<sup>2</sup>, Alain Bateau<sup>1</sup>, Carole Boullanger<sup>3</sup>, Stéphane Gandar<sup>3</sup>, Didier Camy<sup>2</sup>, Josselin Vincent<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Cire Antilles Guyane, <sup>2</sup>Agence Régionale de Santé de Martinique, <sup>3</sup>Madininair

## 1/ CONTEXTE

Les 4 et 11 juillet 2011, deux habitants de la commune du Robert signalaient à la Plateforme de Veille et Gestion Sanitaire l'émission de gaz malodorant provenant de monticules d'algues en décomposition situés à proximité de leur domicile (environ 10m). Le noircissement d'éléments métalliques des bâtiments ainsi que des bijoux en argent et de pièces de monnaie était également constaté. Une des personnes a consulté son médecin traitant pour des céphalées, des irritations de la gorge et du système respiratoire chez elle-même et son enfant.

Cette algue de couleur brune appartient à la famille des *Sargassum fluitans* communément appelée Sargasses et se développe principalement dans la mer des Sargasses, située dans la zone Atlantique Nord-Ouest. Cette algue se retrouve régulièrement sur le littoral mais ce phénomène a connu courant juin une amplitude particulière au gré d'un changement des courants marins conduisant à l'échouage d'importantes quantités sur les côtes de la moitié sud de l'île.

Un rapport de l'Anses du 15 juillet 2010, relatif aux recommandations de prévention des risques liés aux algues vertes qui touchent les côtes bretonnes chaque année, met en évidence l'émission de différents produits au cours de la décomposition des algues parmi

lesquels le sulfure d'hydrogène H<sub>2</sub>S susceptible d'être responsable des phénomènes décrits. Le sulfure d'hydrogène est un gaz toxique incolore, un peu plus lourd que l'air, pouvant être particulièrement dangereux dans un milieu confiné. C'est un irritant des voies respiratoires et un neurotoxique par asphyxie [1].

Les échouages d'algues avaient débuté au cours du mois de juin et l'importance des radeaux encore situés en pleine mer laissait présager une poursuite d'échouages importants sur les côtes.

Des mesures de gestion qui ne sont pas abordées ici, se sont, en parallèle, déployées pour réduire les émissions des produits de décomposition par ramassage et traitement des algues. Compte tenu de la nouveauté du phénomène, leur mise en place a connu des difficultés d'ordre technique et économique. Par ailleurs, la Martinique se caractérise par la présence d'habitations et d'équipements collectifs le long des côtes. Enfin, certains endroits du littoral atteints par les échouages étaient inaccessibles par voie terrestre ce qui constituait une limite aux moyens de ramassage mis en place. L'ensemble de ces raisons a fait que l'exposition de la population, notamment des habitants proches des endroits où avaient lieu des phénomènes de décomposition d'algues a perduré pendant toute la période des échouages massifs qui a duré environ 12 semaines.

Une évaluation de l'impact sanitaire de cet évènement a été menée et a consisté en :

- Une identification des effets sanitaires du H<sub>2</sub>S et choix des valeurs de référence pouvant être utilisées pour orienter les mesures de gestion
- Une surveillance spatiale des échouages
- Une évaluation des expositions humaines
- Une surveillance des effets sanitaires pouvant être liés aux émissions de sulfure d'hydrogène

## 2/ Effets du H<sub>2</sub>S, valeurs toxicologiques de référence et schémas d'exposition

L'H<sub>2</sub>S est un des principaux polluants émis par les algues en décomposition mais il s'accompagne de nombreuses autres substances (ammoniac, mercaptans, diméthyle sulfure...) qui ont leur toxicité propre. Des effets synergiques entre les substances peuvent être envisagés. Sur la base des résultats du rapport de l'Anses, il a été considéré que l'H<sub>2</sub>S est le composé d'intérêt principal émis au cours de la décomposition des algues du fait de sa toxicité et du niveau des émissions pouvant être rencontré. Néanmoins le rapport de l'Anses évoquait 2 autres composés à prendre en compte dans des situations d'exposition aiguë accidentelle (perçage d'une croûte superficielle libérant brutalement les produits de décomposition ac-

cumulée) : l'ammoniac et le formaldéhyde.

Les premiers effets qui apparaissent suite à une exposition à l'hydrogène sulfuré sont une irritation des muqueuses oculaires et respiratoires : photophobie, conjonctivite, rhinite, enrrouement, toux, douleur thoracique. Pour les asthmatiques, des effets bronchiques surviennent à partir de 2 ppm [2].

A l'occasion des travaux d'expertise menés par l'Anses sur les algues vertes en Bretagne, le risque aigu et accidentel d'effets graves pour la santé n'a pu être écarté. En effet, des situations accidentelles de perçage d'une croûte recouvrant des algues en putréfaction ou la chute dans une zone où des algues en putréfaction ont pu s'accumuler, représentent des situations où les émissions d'H<sub>2</sub>S pourraient approcher des concentrations entraînant des effets pulmonaires et neurologiques sévères (seuils de toxicité aiguë). Ce processus de formation de croûte et de poches de gaz n'a pas été décrit dans les phénomènes d'échouage en Martinique.

Pour la population générale, des valeurs toxicologiques de références sont établies par des organismes d'expertise. Leur respect vise à garantir l'absence d'effets sanitaires dans la population générale (et donc chez les personnes les plus sensibles). L'Anses a fait une revue de ces valeurs toxicologiques pour l'H<sub>2</sub>S synthétiquement présentées dans le tableau 1.

### | Tableau 1 |

Valeurs toxicologiques de référence pour l'H<sub>2</sub>S rapportées par l'Anses [1]

Situation d'exposition	Valeur		Observation
	µg/m <sup>3</sup>	ppm	
Valeur toxicologique de référence pour des expositions aiguës (1heure) proposée par l'OEHHA en 2008	42	0,03	Valeur basée sur le seuil de perception olfactive sans qualification d'effets sanitaire à prévenir
Valeur toxicologique de référence pour des expositions aiguës (inférieures à 14 jours) proposées par l'ATSDR en 2006	98	0,07	Vise à protéger d'effets respiratoires chez les asthmatiques
Valeur toxicologique de référence pour des expositions subchroniques (comprises entre 14 jours et un an) proposées par l'ATSDR en 2006	28	0,02	Vise à protéger des irritations oculaires et d'effets neurologiques de type perte de sensibilité olfactive
Valeur en milieu de travail	7000	5	

Il est à noter que le seuil de perception olfactive est proche des valeurs toxicologiques de référence pour la population générale.

Par ailleurs, il faut rappeler que les nuisances olfactives entraînent des effets chez des groupes de populations les plus sensibles aux odeurs :

- les femmes enceintes (exacerbation à la perception de certaines odeurs, des signes digestifs de type nausées, vomissements) ;
- les personnes asthmatiques (crises d'asthme à la perception d'une odeur évoquant une situation durant laquelle la personne avait déclenché une crise, non expliquées par d'autres mécanismes) ;
- les personnes « chimio sensibles » (nausées, manque d'appétit, vomissements, douleurs abdominales, maux de tête, fatigue persistante).

Les situations d'expositions suivantes ont été considérées :

- les personnes fréquentant le littoral (promenade, fréquentation de la plage, mise à l'eau d'embarcation...) pour lesquelles l'exposition est de type aigu car inférieure à 14 jours ;
- les personnes séjournant fréquemment et durablement dans la bande littorale pouvant être concernée par les émissions : habitants, travailleurs autres que la catégorie 3, élèves et étudiants, résidents d'établissements collectifs..., pour lesquelles l'exposition est de type subchronique dès que le phénomène dépasse les 14 jours ;
- les travailleurs manipulant les algues faisant l'objet d'une surveillance professionnelle et de normes réglementaires spécifiques (Valeur limite d'exposition rappelée au tableau 3).

Les valeurs retenues, in fine, dans le cadre de cette évaluation sont les suivantes :

- la concentration moyenne à ne pas dépasser pour les habitants exposés aux émanations depuis plus de 14 jours est de 0,02 ppm ;
- la concentration moyenne à ne pas dépasser pour les personnes fréquentant le littoral pour des activités de loisirs (exposition inférieure à 14 jours) est de 0,07 ppm.

### 3/ SURVEILLANCE DES ÉCHOUAGES

#### 3.1./ Surveillance mise en œuvre

A partir du 20 juillet, la surveillance des échouages a été réalisée par les services des Communes, le Service Départemental d'Incendie et de Secours (SDIS) et par l'association agréée pour la surveillance de la qualité de l'air en Martinique (Madininair). En l'absence de mise en place immédiate de dispositifs prédictifs, la surveillance des échouages s'est résumée à un constat visuel et olfactif des sites où des nuisances ont été signalées par la population.

#### 3.2./ Résultats

Sur la vingtaine de sites ayant fait l'objet d'une surveillance visuelle, 11 d'entre eux ont été identifiés comme particulièrement impactés du fait d'une importante quantité d'algues échouées et d'une nuisance olfactive persistante pour la population avoisinante (Figure 1).

#### | Figure 1 |

Plage impactée par les échouages d'algues. Martinique. 2011



Ces 11 sites étaient répartis sur 6 communes de la façon suivante :

- 2 sites sur la commune du Robert (Quartiers Pointe Savane et Courbaril)
- 2 sites sur la commune du François (Quartiers Frégate Est 1 et Cap Est)
- 3 sites sur la commune du Vauclin (Quartiers Baie des Mulets, Bourg, Petit Macabou)
- 1 site sur la commune du Marin (Quartier Cap Ferré)
- 1 site sur la commune de Sainte Anne (Quartier Anse Michel)
- 2 sites sur la commune du Diamant (Quartiers Anse Cafard et La Cherry)

Les 11 sites les plus impactés sont présentés en figure 2.

#### 3.3./ Limites de la surveillance des échouages

A posteriori, il apparaît que l'immensité de la zone impactée par les échouages d'algues (50 km de côtes comportant de très nombreuses criques) ainsi que la limite des effectifs déployés ont été en défaveur d'une surveillance rapide et efficace ; l'objectif étant de repérer les échouages d'algues avant leur décomposition et d'initier, de façon précoce les actions de ramassage.

Le partage, entre l'ensemble des acteurs, d'un protocole standardisé désormais opérationnel permettra pour un éventuel épisode prochain de bénéficier d'un suivi plus sensible des échouages et en conséquence d'engager des actions de gestion plus précocement. La mise en place d'un dispositif couplant des reconnaissances aériennes et un outil de cartographie est une piste à envisager à l'avenir pour une gestion coordonnée d'un tel phénomène.

#### | Figure 2 |

Carte des sites les plus impactés par les échouages d'algues. Martinique. 2011



### 4/ EVALUATION DE L'EXPOSITION HUMAINE

#### 4.1./ Objectifs de l'évaluation de l'exposition

Dans le but de caractériser le risque lié à la décomposition des algues, il convenait d'objectiver les concentrations d'H<sub>2</sub>S émises dans l'air. A cette fin, des campagnes d'analyses de l'air ont été réalisées. Ces campagnes de mesures avaient pour objectifs :

- d'évaluer l'exposition globale de la population au H<sub>2</sub>S au regard des valeurs toxicologiques connues,
- de mesurer les pics de concentration, tant dans la valeur que dans la durée.

#### 4.2./ Moyens et techniques employés

L'émission d'H<sub>2</sub>S aux niveaux entraînant les nuisances observées était un phénomène nouveau en Martinique. En conséquence, il n'existait pas de moyens métrologiques « de routine » permettant d'estimer au mieux l'exposition de la population aux émissions d'H<sub>2</sub>S suivant qu'il s'agissait de travailleurs, résidents du littoral ou personnes fréquentant occasionnellement le rivage.

L'appréciation des niveaux d'exposition s'est faite par la recherche et la mise en oeuvre successives de méthodes de plus en plus sophistiquées permettant d'atteindre des seuils de détection adéquats et une intégration convenable des mesures reflétant au mieux les conditions d'exposition (Tableau 1).

1. Dans un premier temps, un suivi a été effectué à partir de l'évolution des nuisances olfactives ressenties par la population.
2. Les capteurs de type Oldham et Draeger, rapidement disponibles, ont permis les premières mesures (de type instantané et présentant des seuils de détection élevés au regard des valeurs toxicologiques de référence).
3. L'évaluation de l'exposition à l'intérieur des locaux (c'est-à-dire sur un mode subchronique) a nécessité la commande et l'acheminement en Martinique de matériel permettant de réaliser des mesures plus fines (limite de détection des dispositifs inférieure à la valeur toxicologique de référence pour une exposition subchronique). De mauvaises conditions météorologiques (fortes précipi-

tations, fortes houles) survenues au début du mois d'août se sont traduites par une diminution des nuisances olfactives pendant plusieurs jours. Cette décrue a laissé penser à la fin du phénomène avec pour conséquence l'arrêt de la gestion de crise et donc le report de ces mesures. Ainsi des mesures par tube passif (intégration sur 7 jours) ont pu être mises en oeuvre à la fin du mois d'août. Les mesures ont été menées dans 11 habitations choisies pour leur emplacement à proximité des échouages et pour l'intensité des nuisances rapportées. Dans la perspective de la rentrée scolaire, les 8 écoles potentiellement les plus exposées ont également été sélectionnées pour ces mesures. Enfin, un analyseur automatique a été mis en place dans les habitations enregistrant les concentrations les plus élevées afin de visualiser l'évolution des teneurs en H<sub>2</sub>S.

La mise en oeuvre des campagnes de mesure a nécessité la participation de plusieurs acteurs disposant chacun d'équipements de mesure spécifiques : SDIS, Madinainair et ARS.

## | Tableau 2 |

Moyens et techniques de mesure employés pour l'analyse du risque lié au dégagement d'hydrogène sulfuré par les algues Sargasses en décomposition. Martinique 2011

Opérateur	Appareillage	Seuil de détection	Points de mesure	Durée d'observation	Durée de mesure	Intérêt
<b>SDIS</b>	Capteur type Oldham et Draeger	1 ppm	Au dessus des tas d'algues échouées sur les plages	22/07/11 au 29/09/11	1min	<ul style="list-style-type: none"> <li>Observer des pics de concentration aiguë</li> <li>Disposer de la représentativité de l'exposition sur les plages</li> </ul>
<b>ARS</b>	Pompes à tubes colorimétriques Draeger	0,2 ppm	A proximité des habitations exposées aux odeurs	3 semaines / quotidien du 26/08/11 au 09/09/11	5min	<ul style="list-style-type: none"> <li>Observer des pics de concentration aiguë</li> <li>Disposer de la représentativité de l'exposition près des habitations</li> <li>Disposer de mesures plus fines que celles du SDIS.</li> </ul>
<b>Madinainair</b>	Tubes passifs	0,00029 ppm	A l'intérieur et à l'extérieur des habitations et établissements scolaires exposés aux odeurs	Du 28/08/11 au 12/09/11) 2 périodes pour les habitations 1 période pour les écoles	7 jours	<ul style="list-style-type: none"> <li>Disposer de mesures proches des valeurs sub-chroniques</li> <li>Evaluer l'exposition à l'intérieur et à l'extérieur des habitations</li> </ul>
	Analyseur automatique	0,0001 ppm	A l'intérieur des habitations pour lesquelles des dépassements de la VTR ont été observés	12 jours Entre le 27/09/11 et le 10/10/11	3 à 4 jours	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mettre en évidence des pics de concentration</li> <li>Evaluer l'exposition à l'intérieur des habitations</li> </ul>

### 4.3./ Résultats

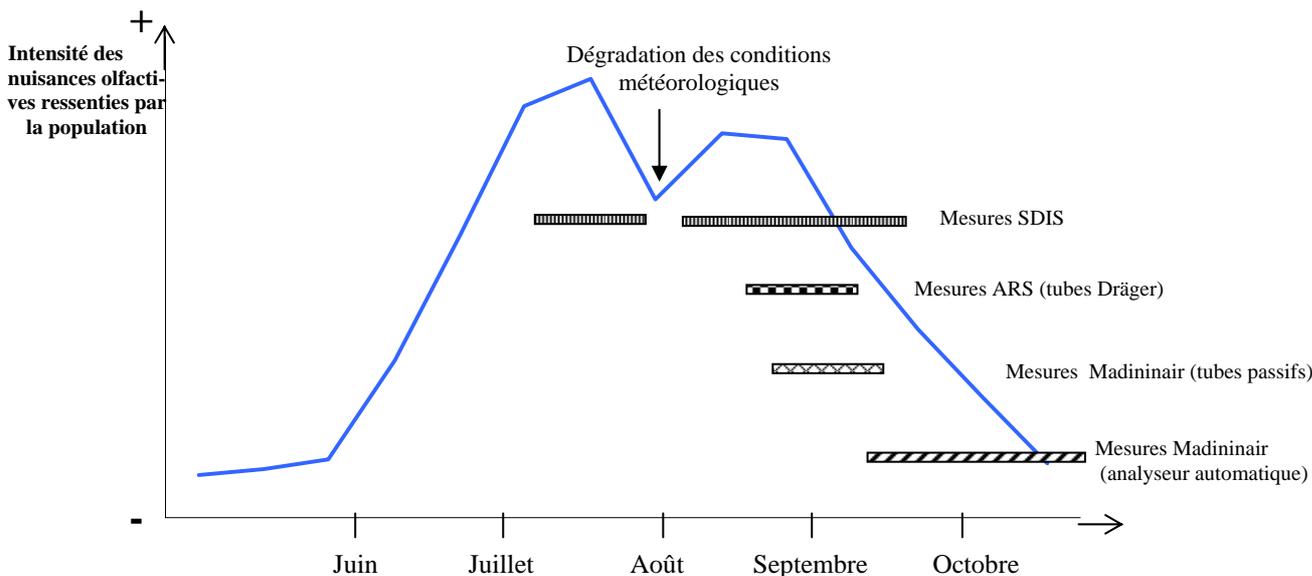
#### 4.3.1./ Evaluation du phénomène sanitaire et de son évolution sur la base des nuisances olfactives

Le phénomène sanitaire lié aux échouages d'algues s'est étalé de mai à septembre 2011 avec 2 pics observés à la mi-juillet et à la mi-août.

Sur la base des plaintes réceptionnées par l'ARS mais également d'observations de terrain quotidiennes assurées par les services de la Lutte Anti-Vectorielle (LAV) et Santé Environnement, une courbe de tendance de l'évolution du phénomène a pu être dégagée (Figure 3) sur laquelle les dates des différentes campagnes météorologiques ont été rapportées

## | Figure 3 |

Appréciation de l'évolution des nuisances olfactives due à la décomposition des algues Sargasses en Martinique – 2011.



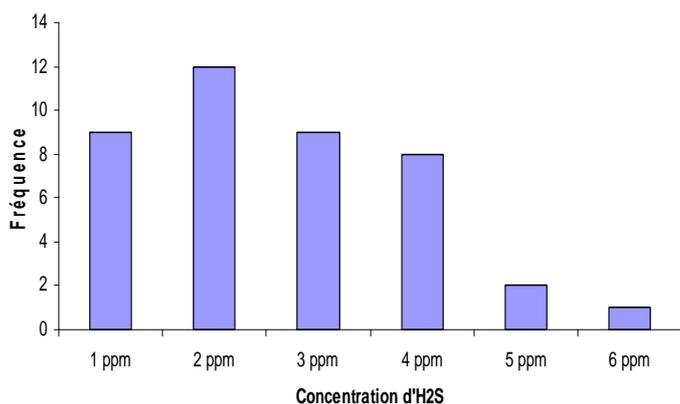
### 4.3.2./ Les mesures par capteurs type Oldham et Draeger (SDIS)

Compte tenu des résultats de l'observation ci-dessus, deux périodes ont été définies :

- Du 22 juillet au 1<sup>er</sup> août, 232 mesures ont été effectuées dont 191 (82 %) étaient inférieures au seuil de détection (1 ppm). Les 41 mesures supérieures à 1 ppm sont représentées sur la figure 4. Une concentration maximale de 6 ppm a été mesurée au quartier Dostaly au François.

## | Figure 4 |

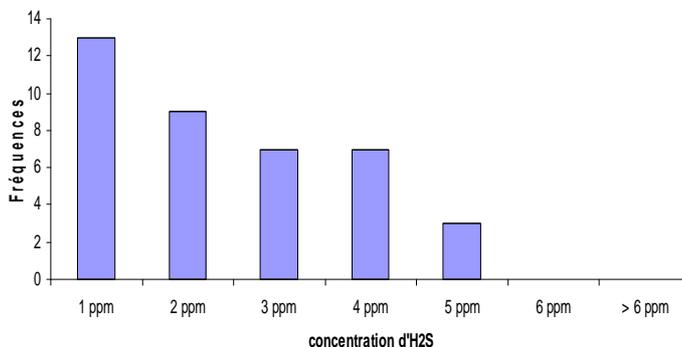
Distribution des concentrations d'H<sub>2</sub>S supérieures au seuil de détection de 1 ppm (18 % des mesures mesurées entre le 22 juillet et le 1<sup>er</sup> août 2011 par capteurs de type Oldham par le SDIS – Martinique)



- Du 8 août au 29 septembre, 646 mesures ont été effectuées dont 603 (93%) étaient inférieures au seuil de détection. Les 43 mesures supérieures à 1 ppm sont représentées sur la figure 5. Une concentration maximale de 5 ppm a été mesurée au quartier Cap Macré au Marin et au quartier la Cherry au Diamant.

## | Figure 5 |

Distribution des concentrations d'H<sub>2</sub>S supérieures au seuil de détection de 1 ppm (7 % des mesures mesurées entre le 8 août et le 29 septembre 2011 par capteurs de type Oldham par le SDIS – Martinique)



Au total, les concentrations d'H<sub>2</sub>S relevées au quotidien par le SDIS au niveau des tas d'algues sont environ une fois sur 10 égales ou supérieures à 1 ppm avec des pics ponctuels à 5 ou 6 ppm à Dostaly au François et Cap Chevalier à Sainte Anne. Globalement, les résultats montrent donc des concentrations plus faibles au cours de cette seconde période.

### 4.3.3./ Les mesures par Pompes à tubes colorimétriques Draeger (ARS)

Les mesures instantanées utilisant les tubes Draeger effectuées quotidiennement sur les 11 sites les plus touchés par l'émission ont permis de mettre en évidence 5 dépassements de la VTR (0,02 ppm) sur les 233 mesures effectuées. Ainsi, 5 mesures à 0,2 ppm ont été relevées aux quartiers La Cherry au Diamant et Cap Est au François avec un pic maximal à 0,5 ppm au Cap Est.

#### 4.3.4./ Les mesures par tubes passifs (Madininair)

Les résultats obtenus par l'utilisation de tubes passifs correspondent à une teneur moyenne calculée à partir des quantités d'H<sub>2</sub>S, fixé par des cartouches à charbon actif, pendant les 7 jours de mesures, par unité de volume. Deux campagnes successives de 7 jours ont ainsi permis d'obtenir une concentration moyenne en H<sub>2</sub>S dans l'air.

Les résultats mettent en évidence pour 5 des 11 habitations explorées des dépassements de la valeur toxicologique de référence pour une exposition subchronique (0,02 ppm). Les valeurs correspondant à ces dépassements variant de 0,025 à 0,094 ppm. Des valeurs supérieures à la valeur toxicologique de référence pour exposition aiguë (0,07 ppm) ont été également relevées pour 2 de ces habitations, les valeurs s'étalant de 0,071 à 0,094 ppm.

Dans les 8 écoles ayant fait l'objet de mesures, la moyenne de la concentration en H<sub>2</sub>S sur 7 jours n'a pas dépassé la valeur toxicologique de référence. Les concentrations d'H<sub>2</sub>S mesurées variaient de 0,001 à 0,011ppm.

#### 4.3.5./ Les mesures par analyseurs automatiques (Madininair)

Des mesures en continu en H<sub>2</sub>S ont été réalisées sur les 4 sites où des dépassements de la VTR aiguë ont été relevés. Les résultats de ces mesures sont reportés dans le tableau 3.

| Tableau 3 |

Résultats des mesures en continu par analyseur automatique du H<sub>2</sub>S dans les habitations exposées. Martinique. 2011

Site	Date	Concentration moyenne en H <sub>2</sub> S (ppm)	Concentration maximale horaire en H <sub>2</sub> S (ppm)	Concentration minimale horaire en H <sub>2</sub> S (ppm)
Habitation dans le quartier Courbaril au Robert	Du 27/09/2011 au 30/09/2011	0,03	0,30	0,0006
Habitation dans le quartier Pointe Savane au Robert	Du 03/10/2011 au 05/10/2011	0,01	0,02	0,009
Habitation dans le quartier Cap-Est au François	Du 05/10/2011 au 07/10/2011	0,01	0,01	0,009
Hôtel dans le quartier de la Cherry au Diamant	Du 07/10/2011 au 10/10/2011	0,00005	0,0005	0

Les résultats des mesures font apparaître des valeurs maximales pour l'habitation du quartier Courbaril au Robert où la concentration moyenne dépasse la valeur toxicologique de référence pour l'exposition subchronique et la concentration maximale horaire dépasse les valeurs toxicologiques de référence pour l'exposition aiguë avec des pics instantanés de 1 ppm.

#### 4.4./ Discussion et conclusion sur les expositions

Apprécier l'exposition de la population était délicat du fait que les moyens de mesures utilisés étaient imprécis au moment où les nuisances (et à priori l'exposition) étaient les plus fortes. Par contre, les moyens de mesures étaient plus fiables et représentatifs lorsque les nuisances avaient fortement baissé.

En tout état de cause, il apparaît de façon nette que des populations en particulier les habitants des quartiers Courbaril et Pointe Savane au Robert, Frégate et Cap Est au François et la Cherry au Diamant ont été exposées à des niveaux de H<sub>2</sub>S supérieurs à la VTR de 0,02 ppm en exposition subchronique.

De même, il est vraisemblable que des personnes ayant fréquenté les plages recouvertes d'algues, en particulier La Pointe Faula au Vauclin ou certaines plages de Sainte Anne ont été exposées, au moins de façon ponctuelle, à des niveaux supérieurs à 2 voire 4 ppm. Aucun pic supérieur à 6 ppm n'a été mesuré sur les plus de 400 mesures effectuées.

## 5/ SURVEILLANCE DES EFFETS SANITAIRES

### 5.1./ Méthodes

Il a été considéré que la population concernée était, en première approximation, la population vivant dans la zone de 500 mètres à partir du rivage. Dans les 6 communes concernées, ceci représente environ 24 000 habitants dont 16 000 résidents dans les quartiers où des arrivages d'algues ont été observés.

Dans les 6 communes concernées, 38 médecins généralistes exercent en libéral. En situation normale, 11 praticiens participent au réseau de médecins sentinelles animés par l'ARS ; ils sont à ce titre interrogés chaque semaine sur le nombre de patients qui ont consulté avec comme motif une liste préétablie de syndromes (cas suspects de dengue, de grippe, de conjonctivite, etc...). Ce réseau a été renforcé par 14 médecins qui ont été interrogés chaque semaine spécifiquement sur cette question.

Au final, 25 médecins ont été appelés par l'ARS chaque semaine entre le 15 août et le 09 octobre ; ils représentaient environ 60 % de l'activité médicale habituelle des généralistes sur les 6 communes.

Les questions posées étaient :

- Combien de personnes sont venues consulter la semaine dernière pour des signes pouvant être reliés à une exposition à des algues en décomposition ?
- Quels étaient les signes présentés ?
- Eventuellement, avez-vous une notion des lieux d'exposition ?

Cette surveillance a été mise en place entre le 15 août et le 9 octobre 2011. Les nombres bruts de consultations donnés par les sentinelles ont été extrapolés pour tenir compte de l'activité médicale globale sur les six communes en tenant compte de la part d'activité de chacun des médecins.

Les signes présentés ne conduisant pas systématiquement à une consultation médicale, il a également été mis en place une surveillance à partir des consommations de médicaments. Dans un premier temps, les deux grossistes répartiteurs de Martinique ont été interrogés sur les évolutions de leur distribution de médicaments vers les officines pour ce qui concerne les principales spécialités indiquées pour les signes présentés suite à une exposition à H<sub>2</sub>S (collyres, antiallergiques [sirops toux sèches – antihistaminiques – corticoïdes], anti-inflammatoires non stéroïdiens [Ibuprofène] et paracétamol), depuis le 1er juillet 2011 jusqu'au 24 août 2011 et ce, en comparaison avec les 2 mois précédents. Aucune évolution n'a été observée mais l'indicateur était probablement trop grossier. Dans un second temps, les 25 pharmaciens d'officine des 6 communes concernées ont été invités à répondre à un questionnaire au fil de l'eau, à chaque fois qu'un patient leur demandait conseil suite à une exposition aux algues ou à l'H<sub>2</sub>S.

## 5.2./ Résultats

Les signes présentés par les patients vus en consultation par les médecins étaient : gêne olfactive, céphalées, conjonctivite, éternuement, allergie naso-sinusienne, irritation de la gorge, toux spastique, rhinite, difficulté respiratoire, dyspnée, hyperactivité bronchique, asthme. Tous ces signes sont compatibles avec une exposition à l'H<sub>2</sub>S. A la fin du mois de septembre, ont été signalées des allergies persistantes depuis 2 mois et des toux résiduelles.

Lorsque des indications de lieux d'exposition étaient fournis, ils correspondaient effectivement à des zones où des échouages d'algues avaient été constatés : Pointe Savane, Pointe Fort, Pointe Lynch, Four à Chaux, Pontaléry au Robert ; Frégate, Dostaly, Pointe Melon, Presqu'île, Cap Est au François ; Baie des mulets, bourg, Macabou au Vauclin ; Cap Chevalier à Sainte Anne.

Sur le plan quantitatif, les résultats sont présentés dans le tableau 4.

### | Tableau 4 |

Estimation du nombre de consultations par les médecins généralistes pour un motif en lien avec l'exposition aux émissions des algues en décomposition – Martinique 2011

Semaine	2011-33	2011-34	2011-35	2011-36	2011-37	2011-38	2011-39	2011-40	Total
Robert	5	13	19	2	3	24	0	0	66
François	3	2	19	4	0	0	0	0	28
Vauclin	2	4	0	0	1	0	0	0	7
Sainte Anne	0	0	2	0	2	2	0	0	6
Marin	0	0	0	0	2	0	0	0	2
Diamant	18	29	0	4	0	0	0	0	51
<b>Total</b>	<b>28</b>	<b>47</b>	<b>40</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>26</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>159</b>

Cette surveillance a été arrêtée à partir du 10 octobre 2011, suite à deux semaines sans aucun cas rapporté en lien avec des émanations d'H<sub>2</sub>S.

La surveillance basée sur les officines de pharmacie a donné des résultats plus ténus :

Le Robert : 9 signalements entre le 2 et le 13 septembre en provenance de 3 pharmaciens

Le François : 2 signalements le 6 septembre en provenance d'un pharmacien

Le Vauclin : 1 signalement le 2 septembre

Dans tous les cas, une exposition à l'H<sub>2</sub>S est rapportée, à l'extérieur et/ou à l'intérieur de l'habitation. Les signes rapportés par les données recueillis en officine sont aussi compatibles avec cette exposition.

## 5.3./ Discussion

Les signes rapportés sont modérés et ne conduisent pas les patients à consulter systématiquement. Il est donc certain que l'observation au travers du réseau de médecins sentinelles, même renforcé, ne donne qu'une image déformée de la réalité dans le sens d'une sous-estimation du nombre de cas.

Au total, le problème environnemental d'échouage d'algues sur le littoral martiniquais a entraîné des effets sanitaires que les données tant quantitatives que qualitatives recueillies auprès des professionnels de santé ont permis de décrire. L'impact sanitaire est resté d'ampleur et de gravité modérées avec 159 consultations liées à ce phénomène en 6 semaines, essentiellement pour des signes d'irritation.

Ces résultats montrent tout l'intérêt de la surveillance syndromique à partir du réseau de médecins, même dans des situations où les signes sont très peu spécifiques et soulignent la capacité de ces professionnels de santé à s'adapter à une situation nouvelle.

## 6/ CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

A partir de juin 2011, l'échouage massif des algues sargasses sur une partie du littoral martiniquais et l'émission de produits issus de leur décomposition ont entraîné des signalements de nuisances et d'effets sur la santé ressentis. Le caractère inédit du phénomène a imposé de rechercher des méthodes d'évaluation de l'impact du phénomène.

La surveillance des échouages d'algues et le recueil des plaintes a permis d'orienter le déploiement des moyens analytiques vers les populations potentiellement les plus exposées et/ou les plus sensibles.

L'évaluation des expositions devait faire appel à des techniques dont la sensibilité atteignait au moins le niveau des valeurs toxicologiques de référence et pour l'évaluation de l'exposition subchronique, à des techniques permettant d'intégrer des mesures sur plusieurs jours.

L'évaluation de l'impact sanitaire dans la population a montré un impact modéré correspondant à des signes compatibles avec une exposition à H<sub>2</sub>S.

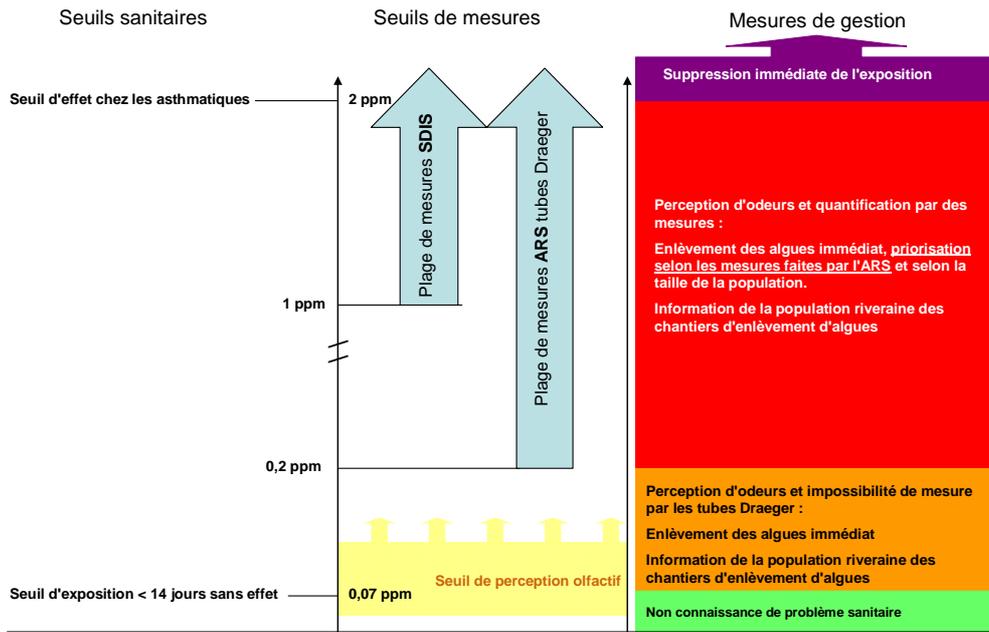
Au total, les résultats des études météorologiques et épidémiologiques sont en concordance.

Il n'est pas exclu que ce phénomène d'échouage massif d'algues se reproduise à l'avenir. Les enseignements tirés des investigations mises en place en 2011 doivent permettre de préparer et d'articuler la réponse à de futurs événements.

Au cours de l'été 2011, la montée en puissance des moyens analytiques a notamment permis de définir des recommandations pour la gestion basées sur des seuils d'intervention tenant compte des valeurs toxicologiques de référence et de la performance de la météorologie disponible. Deux schémas correspondant respectivement aux situations d'exposition aiguë et subchronique ont pu être ainsi proposés pour orienter les mesures de gestion (Figures 5a et 5b). Ces propositions pourront être discutées ou complétées dans le cadre d'une réponse coordonnée pour gérer de nouvelles situations.

## | Figure 6a |

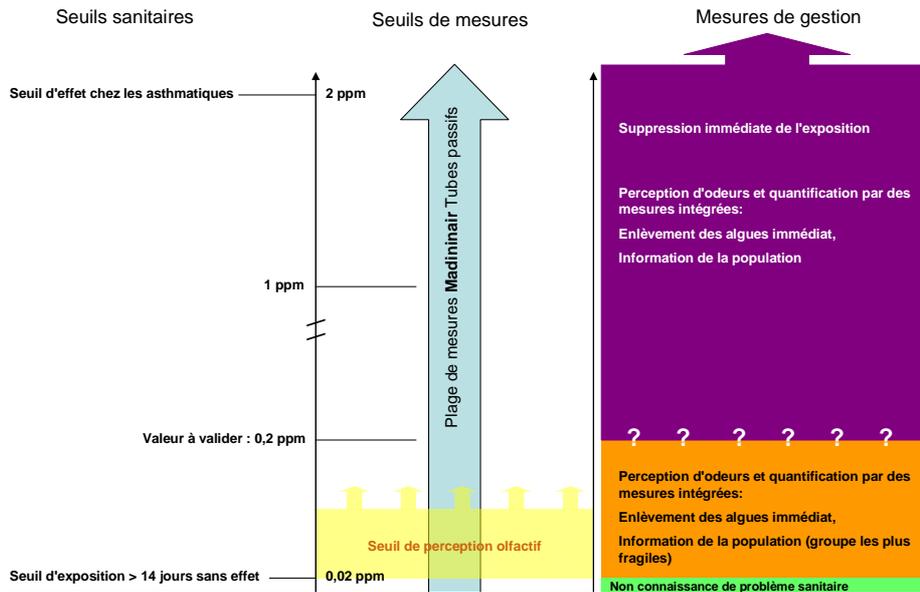
Interprétation des mesures d' H<sub>2</sub>S faites en vue d'apprécier une exposition aiguë et recommandations émises concernant les mesures de gestion



\*Ce schéma ne s'applique pas pour les mesures faites sur les chantiers d'enlèvement d'algues

## | Figure 6b |

Interprétation des mesures intégrées d'H<sub>2</sub>S faites en population générale en vue d'apprécier une exposition subchronique et recommandations émises concernant les mesures de gestion



\*Ce schéma ne s'applique pas pour les mesures faites sur les chantiers d'enlèvement d'algues

### Références

1. Anses. Algues vertes : Risques liés aux émissions gazeuses des algues vertes pour la santé des populations avoisinantes, des promeneurs et des travailleurs. Saisine « Algues vertes »2010-SA-0175. RAPPORT d'expertise collective. Mai 2011. Anses. Maisons Alfort. 252 p.
2. Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Hydrogen sulfide.,TP114. US Department of Health and Human Services. Juillet 2006. 253 p. <http://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp114.pdf>

### Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier les techniciens des services Santé Environnement et de lutte antivectorielle de Martinique, du Service Départemental d'Incendie et de Secours et Madininair pour leur contribution

Carole Boullanger, Stéphane Gandar, Gaëlle Grataloup  
Madininair, Fort de France

Les travaux du Grenelle de l'environnement et du Plan National Santé Environnement (PNSE2) ont confirmé l'inscription parmi les priorités gouvernementales de la surveillance de la qualité de l'air à l'intérieur des établissements collectifs hébergeant des populations vulnérables, notamment les écoles et crèches.

Les AASQA (Association Agréée pour la Surveillance de la Qualité de l'Air) ont été sollicitées dans le but de valider des techniques et modalités de gestion de cette surveillance. La qualité de l'air intérieur de 300 écoles et crèches a été alors évaluée dans 24 régions en France et dans les DOM.

Dans le cadre de cette étude nationale, Madininair, l'association agréée pour la surveillance de la qualité de l'air en Martinique, a réalisé l'évaluation de la qualité de l'air dans dix écoles et crèches durant la période scolaire de 2010-2011. Le choix de ces établissements a été validé et l'étude a été suivie tout au long de l'année par un comité de pilotage (COFIL) composé d'un représentant de la DEAL (Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement), de l'ARS (Agence Régionale de la Santé), de la CIRE (Cellule Inter-Régionale d'Epidémiologie), du Rectorat et des collectivités concernées.

Durant l'année scolaire 2010-2011, Madininair a effectué des prélèvements lors de deux périodes, une période sèche et une période humide dans les salles investiguées des établissements sélection-

nés, le nombre de salles investiguées dépendant de la taille et de l'agencement de l'établissement.

## 1/ STRATEGIE DE PRELEVEMENTS

### 1.1./ Le choix des établissements et classes investigués

Sur le territoire de la Martinique, dix établissements ont été investigués. Ces établissements ont été sélectionnés selon des critères de représentativité de la population, de type et de situation géographique des établissements, d'influence de sources de pollution potentielles, de typologie des bâtiments, ...

En effet, sept établissements ont été choisis dans la zone urbaine régionale, notamment les communes de Fort-de-France, Lamentin, Schœlcher, Case-Pilote, qui regroupent la majorité de la population et une densité de population élevée. Les trois autres établissements ont été choisis dans des communes de la zone régionale, Saint-Pierre, Robert et Sainte-Luce.

Le nombre de classes investiguées dans chaque établissement dépend de la typologie de l'établissement : le nombre de bâtiments, le nombre d'étages et le nombre de classes par étage. Les classes sont ensuite choisies pour être représentatives de l'établissement (Tableau 1).

## | Tableau 1 |

Récapitulatif des établissements sélectionnés

Type	Situation	Sources directes	Communes	Nom Etablissement	Nombre de classes investiguées
Crèche	urbaine	Industrielle et trafic	Fort-de-France	Les Flamboyants	2
Crèche	urbaine	Aucune	Saint-Pierre	Crèche de Saint-Pierre	1
Crèche	urbaine	Aucune	Lamentin	Crèche du Bourg	2
Maternelle	urbaine	Trafic	Schœlcher	Maternelle de Batelière	2
Maternelle	urbaine	Aucune	Schœlcher	Maternelle de Fond-Lahaye	3
Maternelle	rurale	Aucune	Sainte-Luce	Maternelle les Abeilles	2
Primaire	urbaine	Industrielle et trafic	Fort-de-France	Ecole primaire Victor Hillion Dillon C	4
Primaire	urbaine	Aucune	Case-Pilote	Ecole primaire de Case-Pilote	8
Primaire	rurale	Aucune	Robert	Ecole Primaire Pointe Lynch	4
Primaire	rurale	Aucune	Lamentin	Ecole primaire Gondeau Palmiste B	6

### 1.2./ Les mesures réalisées dans les établissements

Dans cette étude, deux composés gazeux (le formaldéhyde et le benzène) et un paramètre physique (le confinement) ont été mesurés :

- Le formaldéhyde, considéré comme le traceur de la pollution intérieure car principalement émis par le mobilier et l'activité au sein des salles d'activité et de classe
- Le benzène, considéré comme le traceur de la pollution extérieure. Ce composé est émis par la circulation automobile et les industriels

- Le confinement, permettant de mesurer le taux de renouvellement de l'air dans une pièce

De plus, dans les établissements participant à l'étude, un pré-diagnostic du bâtiment a été réalisé par un expert du bâtiment durant l'année scolaire 2010-2011. Ce diagnostic consiste à :

- Décrire le bâtiment et son environnement proche
- Faire l'inventaire de ses systèmes de climatisation et ventilation
- Documenter les usages (activités, produits) eu égard à des impacts possibles sur la qualité de l'air intérieur

- Fournir les premiers éléments d'explication des niveaux de concentration ou de confinement élevés qui pourront être mesurés dans les salles instrumentées

### 1.3./ Les périodes de mesure

Dans les salles d'activité et de classe de neuf établissements sur dix, les mesures ont été effectuées lors de deux campagnes de mesure, une en période humide, de septembre 2010 à janvier 2011, et une en période sèche, de mars à juin 2011. Les composés, formal-

déhyde et benzène, ont été mesurés lors de prélèvements hebdomadaires sur ces deux périodes. La mesure du confinement est réalisée durant deux semaines lors de chaque période.

Dans les quatre salles de classe d'un des dix établissements, la mesure du formaldéhyde fait l'objet d'un suivi temporel, c'est-à-dire que ce composé est mesuré lors de prélèvements hebdomadaires durant seize semaines consécutives. Cela a pour but de valider la représentativité annuelle de deux mesures saisonnières par an (Tableau 2).

**| Tableau 2 |**

Nombre de mesures des composés gazeux par établissement

Nom Etablissement	Nombre de classes investiguées	Formaldéhyde		Benzène	
		Nombre de tubes sur l'année	Nombre de tubes extérieurs	Nombre de tubes sur l'année	Nombre de tubes extérieurs
Les Flamboyants	2	4	2	4	2
Crèche de Saint-Pierre	1	2	-	2	2
Crèche du Bourg	2	4	-	4	2
Maternelle de Batelière	2	4	-	4	2
Maternelle de Fond-Lahaye	3	6	-	6	2
Maternelle les Abeilles	2	4	-	4	2
Ecole primaire Victor Hillion Dillon C*	4	64	2	8	2
Ecole primaire de Case-Pilote	8	16	-	16	2
Ecole Primaire Pointe Lynch	4	8	-	8	2
Ecole primaire Gondeau Palmiste B	6	12	-	12	2

\*Suivi temporel

## 2/ MATERIELS ET METHODES

### 2.1./ Mesures des composés gazeux : Formaldéhyde et Benzène

La mesure du formaldéhyde et du benzène se fait à l'aide de tubes passifs à diffusion radiale, de type Radiello. L'analyse du formaldéhyde est effectuée par le Laboratoire Inter-Régional (LIC) par chromatographie en phase liquide (HPLC). L'analyse du Benzène est effectuée par le laboratoire de chimie d'ATMO PICARDIE (LCPA) par une désorption thermique, puis une chromatographie en phase gazeuse couplée à un détecteur FID.

#### 2.1.1./ Formaldéhyde

Le formaldéhyde est un composé très volatil dont l'odeur piquante, détectable à très faible concentration (à partir de 0,6 µg par mètre cube d'air) provoque des irritations et des inflammations des yeux, des voies respiratoires (nez, gorge, poumons) et de la peau (rougeurs, démangeaisons). Il peut également avoir des conséquences neurologiques qui se traduisent par une fatigue accrue, des angoisses, des migraines, des nausées ou des vertiges.

#### Valeurs de référence :

Dans le cadre de cette étude, le HCSP (Haut Conseil de la Santé Publique) a défini des valeurs de référence pour le formaldéhyde (Tableau 3), en octobre 2009 :

**| Tableau 3 |**

Valeurs de référence (en µg/m<sup>3</sup>) pour le formaldéhyde en air intérieur

		Valeur cible (AFSSET)	Valeur repère (2009)	Valeur d'information et de recommandation	Valeur d'action rapide
Formaldéhyde	Exposition long terme	10µg/m <sup>3</sup>	30µg/m <sup>3</sup> en 2009 20µg/m <sup>3</sup> en 2014 10µg/m <sup>3</sup> en 2019	50µg/m <sup>3</sup>	100µg/m <sup>3</sup>

#### 2.1.2./ Benzène

Le benzène est susceptible d'entraîner des effets néfastes sur la santé humaine, quelle que soit la durée d'exposition. Le benzène présente en effet une toxicité pour les lymphocytes (effets hématologiques non cancérogènes). À plus long terme, il peut entraîner des leucémies (effets hématologiques cancérogènes).

#### Valeurs de référence :

Dans le cadre de cette étude, le HCSP (Haut Conseil de la Santé Publique) a défini des valeurs de référence pour le benzène (Tableau 4), en juin 2010 :

## | Tableau 4 |

Valeurs de référence (en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) pour le benzène en air intérieur

		Valeur cible (AFSSET)	Valeur repère (2009)	Valeur d'information et de recommandation	Valeur d'action rapide
Benzène	Exposition long terme	$2\mu\text{g}/\text{m}^3$	$5\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2010-2012 $2\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2015	$5\mu\text{g}/\text{m}^3$	$10\mu\text{g}/\text{m}^3$

## 2.2./ La mesure du confinement

Le CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) a développé un appareil indicateur de confinement de l'air intérieur, appelé Lum'AIR. Cet appareil mesure le confinement c'est-à-dire le taux de renouvellement de l'air d'une pièce, par la mesure du dioxyde de carbone,  $\text{CO}_2$ . Cet appareil fournit ainsi un indice de confinement appelé ICONNE. Cet indice est calculé à partir des niveaux de  $\text{CO}_2$  mesurés toutes les 10mn dans la salle près des enfants en période d'occupation. Celui-ci prend en compte non seulement la fréquence des situations de confinement mais aussi leur intensité autour des valeurs de 1000 ppm à 1700 ppm.

L'indice définit un état de confinement d'une pièce en cinq catégories intégrées sur les deux semaines de mesure (Tableau 5).

## | Tableau 5 |

Indice de confinement

Indice	Interprétation de l'indice
0	Pas de confinement
1	Peu de confinement
2	Faible confinement
3	Confinement moyen
4	Confinement élevé
5	Confinement extrême

## 3/ RESULTATS EN MARTINIQUE

### 3.1./ Résultats du formaldéhyde

Dans l'ensemble des salles investiguées, les concentrations en formaldéhyde varient peu au cours du temps durant les seize semaines consécutives (Figure 1). Ainsi, deux prélèvements durant deux saisons distinctes, semblent convenir à une représentativité annuelle.

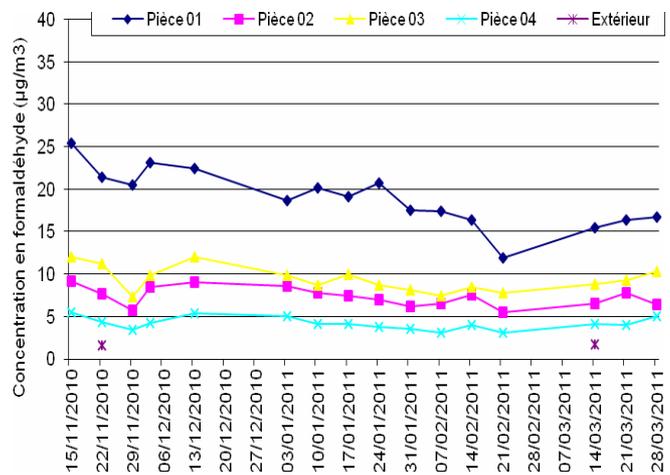
Les concentrations en formaldéhyde dans les salles investiguées de chaque établissement, sont moyennées et comparées aux valeurs guides dans l'air intérieur (VGAI). Aucun établissement n'a fait l'objet d'un dépassement de la valeur d'action rapide, entraînant un état de crise. Cet état de crise aurait eu pour fonction de mettre en place des actions rapides (mesures complémentaires, aménagement des locaux, réaffectation des élèves, ...) pour répondre aux concentrations élevées, elle aurait été géré par le comité de pilotage (COFIL) régional, piloté par le Préfet. La concentration moyenne en formaldéhyde de l'école primaire Victor Hillion Dillon C atteint la valeur guide applicable en 2023 de  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Toutefois, les concentrations en formaldéhyde dans tous les établissements investigués sont inférieures à la valeur repère de  $30\mu\text{g}/\text{m}^3$  (valeur guide en 2015) (Figure 2).

Au regard des concentrations en formaldéhyde mesurées dans les classes, seules deux salles dépassent la valeur guide pour 2023 de  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  : la salle 01 de l'école primaire de Victor Hillion Dillon C, est

située au rez-de-chaussée de l'établissement et la salle 02 de la maternelle « les abeilles » dans la commune de Sainte-Luce, est située au rez-de-chaussée du bâtiment au plus près de la route. Les autres établissements enregistrent des concentrations en formaldéhyde relativement identiques dans les salles investiguées. Les concentrations en formaldéhyde dans ces classes sont inférieures à la valeur repère de  $30\mu\text{g}/\text{m}^3$  et n'impliquent donc aucune mesure particulière (Figure 3).

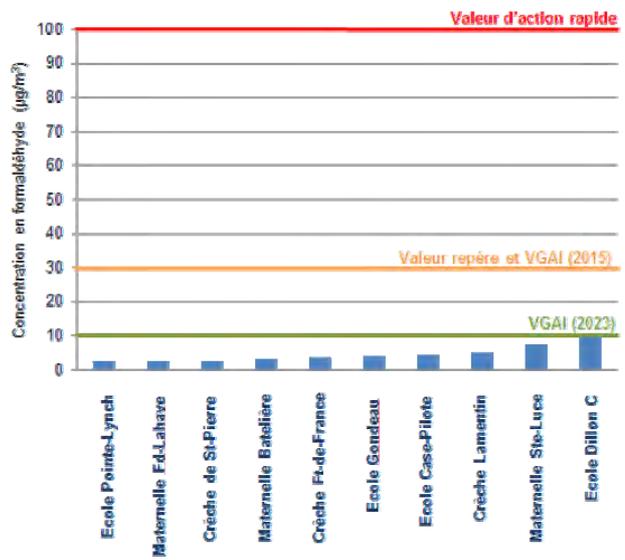
## | Figure 1 |

Evolution hebdomadaire des concentrations en formaldéhyde ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) dans les classes de l'école primaire de Victor Hillion Dillon C



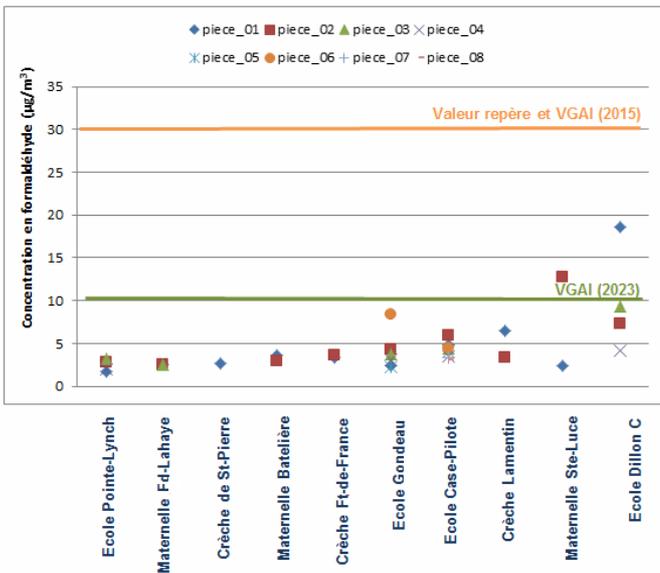
## | Figure 2 |

Concentrations moyennes en formaldéhyde ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) des dix établissements (moyenne de la totalité des classes pour chaque établissement)



### | Figure 3 |

Concentrations moyennes en formaldéhyde ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de chaque salle investiguée pour les dix établissements



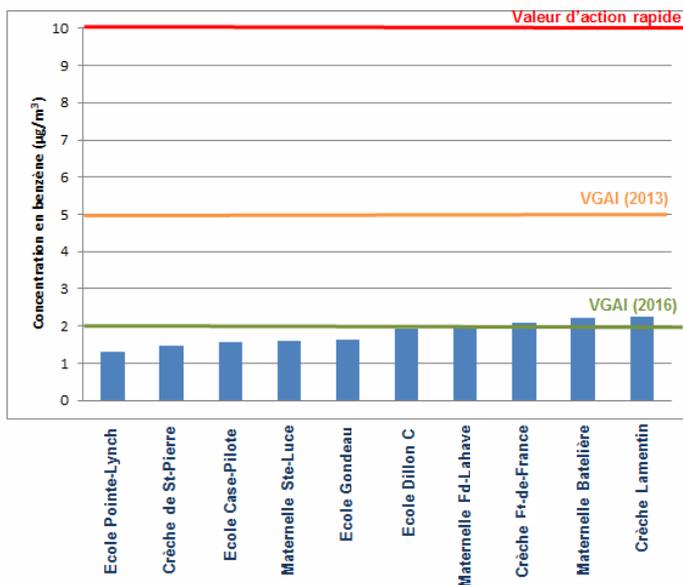
### 3.2./ Résultats du benzène

Le benzène a été mesuré dans les salles sélectionnées de chacun des dix établissements lors de deux prélèvements hebdomadaires, un en saison humide (septembre à janvier) et un en saison sèche (mars à juin).

Les concentrations en benzène dans les salles investiguées de chaque établissement, sont moyennées et comparées aux valeurs guides dans l'air intérieur (VGAI). Aucun établissement n'a fait l'objet d'un dépassement de la valeur d'action rapide. La valeur guide pour 2016 de  $2\mu\text{g}/\text{m}^3$  en benzène est atteinte ou dépassée dans trois établissements (Figure 4).

### | Figure 4 |

Concentrations moyennes en benzène ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) des dix établissements (moyenne de la totalité des classes pour chaque établissement)



Dans six établissements, les concentrations en benzène mesurées dépassent la valeur guide pour 2015 de  $2\mu\text{g}/\text{m}^3$  dans au moins une de leurs salles investiguées. Dans trois de ces six établissements,

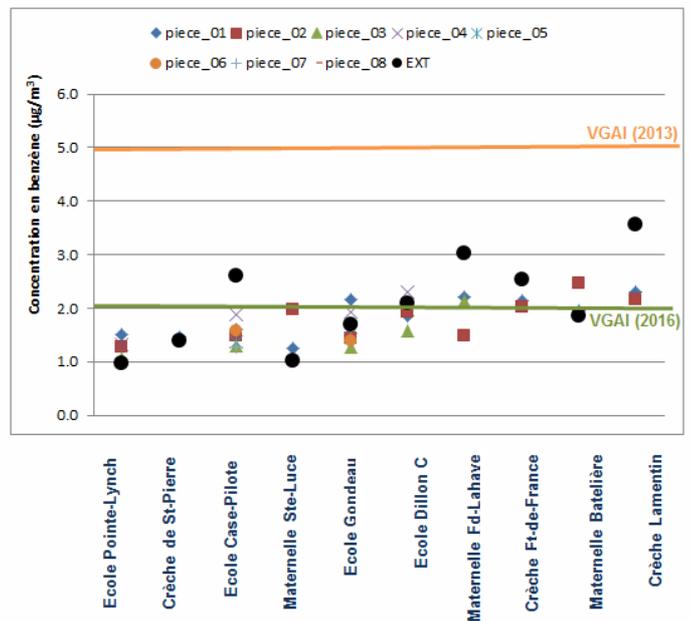
les concentrations en benzène mesurées à l'extérieur sont inférieures aux concentrations mesurées dans les classes investiguées (Ecole Gondeau, Ecole Dillon C, Maternelle Batelière). Dans les trois autres établissements, les concentrations en benzène mesurées à l'extérieur des établissements sont supérieures aux concentrations mesurées dans les classes (Maternelle Fond-Lahaye, crèche Fort-de-France et crèche Lamentin) (Figure 5).

Dans les salles investiguées des quatre autres établissements, les concentrations en benzène sont en dessous ou égales à la VGAI de  $2\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Les établissements dont les classes ont des concentrations comprises entre 2 et  $5\mu\text{g}/\text{m}^3$  font l'objet de recommandations simples.

### | Figure 5 |

Concentrations moyennes en benzène ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de chaque salle investiguée pour les dix établissements



### 3.3./ Indice de confinement

L'indice de confinement est de 0 à 1 (pas à peu de confinement) pour toutes les salles investiguées de tous les établissements.

Ces salles sont bien aérées par l'ouverture des fenêtres, même pour les deux salles en sous-sol de l'école primaire de Saint-Just Orville à Case-Pilote, toutes deux climatisées.

## 4/ COMPARAISON AUX RESULTATS NATIONAUX

Pour le formaldéhyde, à l'échelle de l'établissement, les concentrations moyennes mesurées dans les dix établissements martiniquais sont inférieures à  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ . A l'échelle d'une pièce, les concentrations moyennes sont inférieures à  $30\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Cela correspond à la grande majorité des concentrations mesurées dans les établissements des différentes régions françaises (Tableau 6). Aucun des établissements français n'ont atteint la valeur d'action rapide pour le formaldéhyde.

Pour le benzène, les concentrations moyennes dans les établissements martiniquais correspondent également aux concentrations moyennes mesurées dans les établissements des autres régions françaises (Tableau 7). En France, certaines pièces ont dépassé la valeur d'action rapide pour le benzène (0,2%).

## | Tableau 6 |

Distribution des concentrations moyennes annuelles en formaldéhyde (FA) à l'échelle des établissements et des pièces dans les différentes régions françaises

FA ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Répartition des MOYENNES annuelles à l'échelle de l'ETABLISSEMENT		Répartition des MOYENNES annuelles à l'échelle de chaque PIECE	
	0 à ≤ 10	15,6%	89,4%	18,5%
10 à ≤ 30	73,8%	67,1%		
30 à ≤ 50	8,8%	10,6%	11,8%	14,4%
50 à ≤ 100	1,9%		2,5%	
> 100	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

## | Tableau 7 |

Distribution des concentrations moyennes annuelles en benzène (BE) à l'échelle des établissements et des pièces dans les différentes régions françaises

BE ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Répartition des MOYENNES annuelles à l'échelle de l'ETABLISSEMENT		Répartition des MOYENNES annuelles à l'échelle de chaque PIECE	
	0 à ≤ 2	44,7%	44,7%	39,7%
2 à ≤ 5	52,8%	55,3%	58,6%	60,0%
5 à ≤ 10	2,5%		1,4%	
> 10	0,0%	0,0%	0,2%	0,2%

## 5/ CONCLUSION

### 5.1./ A l'échelle régionale de la Martinique

En Martinique, dix établissements ont été sélectionnés pour participer à l'étude nationale de la qualité de l'air intérieur dans les écoles et crèches. Le choix de ces établissements, validé par le COPIL régional, a été réalisé selon la zone, la densité de population, la typologie des bâtiments, la situation géographique..., pour être les plus représentatifs du territoire.

Les concentrations moyennes en formaldéhyde mesurées dans les différents établissements sont faibles et inférieures à la valeur repère. En effet, le confinement, mesuré lors de l'étude, montre une aération régulière des salles d'activité ou salles de classe, permettant un renouvellement d'air et donc une dispersion rapide du formaldéhyde émis.

Les concentrations moyennes en benzène sont supérieures à la valeur guide de  $2\mu\text{g}/\text{m}^3$  dans les salles de six établissements. Ainsi, auprès de ces établissements des recommandations simples seront réalisées :

- Pour les concentrations en benzène comprises entre 2 et  $5\mu\text{g}/\text{m}^3$  (3 cas) : « recommande pour toute valeur comprise entre 2 et  $5\mu\text{g}/\text{m}^3$  de laisser à l'initiative du maire, et du directeur d'établissement toute action d'amélioration de la situation et de sensibilisation du personnel à la problématique de la qualité de l'air intérieur par exemple sous forme de recommandations de bonnes pratiques relative à l'aération des locaux »
- Pour les concentrations en benzène comprises entre 2 et  $5\mu\text{g}/\text{m}^3$  avec des concentrations extérieures supérieures aux concentrations intérieures (3 cas) : « recommande pour toute valeur comprise entre 2 et  $5\mu\text{g}/\text{m}^3$  lorsque la concentration extérieure dépasse celle mesurée à l'intérieur et se situe au-delà de l'objectif de qualité en air extérieur de  $2\mu\text{g}/\text{m}^3$  que soient menées par les autorités compétentes et l'association agréée de surveillance de la qualité de l'air locale des investigations complémentaires permettant l'identification de(s) source(s) de pollution extérieures, en

vue d'améliorer la situation, sans que cette action ne revête un caractère obligatoire et d'urgence. »

Ainsi, des courriers seront envoyés aux établissements participants. Dans quatre établissements, les conditions sont idéales. Dans six des établissements, des recommandations simples concernant le benzène seront notifiées.

### 5.2./ A l'échelle nationale

Les associations agréées pour la surveillance de la qualité de l'air ont été désignées pour valider le protocole de mesure en vue d'une obligation ministérielle de mesure dans les établissements accueillant du public. De ce fait, sur les années scolaires 2009-2010 et 2010-2011, 300 établissements (crèches et écoles) ont été investigués pour réaliser des mesures dans l'air intérieur, dans l'hexagone et dans les DOM.

#### 5.2.1./ Validation des composés mesurés

Trois paramètres ont été mesurés : le formaldéhyde, traceur de la pollution intérieure, le benzène, traceur de la pollution extérieure et le confinement, à l'origine d'une augmentation des polluants dans l'air intérieur.

#### 5.2.2./ Validation des périodes de mesure

La question de la représentativité des deux semaines de mesure s'est posée principalement pour le formaldéhyde. En effet, l'émissivité de ce composé fluctue avec la température, donc selon les saisons. Ainsi, des suivis temporels de la mesure ont donc été effectués dans plusieurs établissements dans l'hexagone et dans les DOM, permettant de valider que deux échantillonnages dans l'année, un en période humide et un en période sèche (en France, hiver et été), soient représentatifs de l'année. Ces deux prélèvements, lors de ces deux saisons distinctes dans l'année, semble convenir à une représentativité annuelle et semble être le meilleur compromis entre la qualité du résultat et le coût de l'étude (validée par les conclusions nationales).

#### 5.2.3./ Elaboration des décrets

Cette étude a permis la parution de deux décrets :

- Décret n°2011-1727 du 02 décembre 2011 relatif aux valeurs-guides pour l'air intérieur pour le formaldéhyde et le benzène
- Décret n°2011-1728 du 02 décembre 2011 relatif à la surveillance de la qualité de l'air intérieur dans certains établissements recevant du public

#### 5.2.4./ Validation des valeurs guides

Le décret n°2011-1727 définit les valeurs-guides pour l'air intérieur comme « un niveau de concentration de polluants dans l'air intérieur fixé, pour un espace clos donné, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine, à atteindre, dans la mesure du possible, dans un délai donné. »

Pour le formaldéhyde, les valeurs-guides pour l'air intérieur sont :

- $30\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour une exposition de longue durée à compter du 1 janvier 2015
- $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour une exposition de longue durée à compter du 1 janvier 2023

Pour le benzène, les valeurs-guides pour l'air intérieur sont :

- $5\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour une exposition de longue durée à compter du 1 janvier 2013
- $2\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour une exposition de longue durée à compter du 1 janvier 2016

### 5.2.5./ Définition des établissements recevant du public (ERP)

Le texte instaure de manière progressive l'obligation de surveiller périodiquement la qualité de l'air intérieur dans les ERP par un organisme accrédité. Cette surveillance doit être réalisée par les établissements d'accueil collectifs d'enfants de moins de six ans et les écoles maternelles avant le 1er janvier 2015, les écoles élémentaires avant le 1er janvier 2018, les accueils de loisirs et les établissements d'enseignement du second degré avant le 1er janvier 2020, et les autres établissements avant le 1er janvier 2023.



### Références

Elaboration des protocoles de surveillance du formaldéhyde, du benzène et du monoxyde de carbone dans l'air des lieux clos ouverts au public, Air Intérieur, LCSQA, Décembre 2008

Campagne pilote de surveillance de la qualité de l'air dans les écoles et crèches en France, Résultats de la première phase, Environnement Intérieur, Qualité de l'air et santé, pollution atmosphérique n°211, Juillet-Septembre 2011.

Décret n°2011-1727 du 02 décembre 2011 relatif aux valeurs-guides pour l'air intérieur pour le formaldéhyde et le benzène

Décret n°2011-1728 du 02 décembre 2011 relatif à la surveillance de la qualité de l'air intérieur dans certains établissements recevant du public

## 3èmes Journées interrégionales de Veille Sanitaire des Antilles Guyane

Hôtel Salako, Gosier, Guadeloupe  
du 26 au 27 octobre 2012

*Réservez ces dates dès à présent  
dans votre agenda*

Pour toute information complémentaire

Cire Antilles Guyane - Centre d'Affaire Agora - BP 656 - 97263 Fort de France Cedex - Tél : 0596 39 43 54 - Fax : 0596 39 44 14 - Mail : ars-martinique-cire@ars.sante.fr

### Cire Antilles Guyane

Tél. : 05 96 39 43 54 — Fax : 05 96 39 44 14

Guadeloupe	Guyane	Martinique
<p><b>Cire Antilles Guyane</b> Tél. : 05 90 99 49 54 / 49 07 Fax : 05 90 99 49 24 Mail : sylvie.cassadou@ars.sante.fr Mail : jean-loup.chappert@ars.sante.fr</p>	<p><b>Cire Antilles Guyane</b> Tél. : 05 94 25 72 49 / 72 50 / 72 52 Fax : 0594 25 72 95 Mail : vanessa.ardillon@ars.sante.fr Mail : luisiane.carvalho@ars.sante.fr</p>	<p><b>Cire Antilles Guyane</b> Tél. : 05 96 39 43 54 Fax : 05 96 39 44 14 Mail : alain.blateau@ars.sante.fr Mail : jacques.rosine@ars.sante.fr</p>
<p><b>ARS/CVGS</b> Tél. : 05 90 99 44 84 Fax : 05 90 99 49 24 Mail : patrick.saint-martin@ars.sante.fr</p>	<p><b>ARS/CVGS</b> Tél. : 05 94 25 72 35 Fax : 05 94 25 72 95 Mail : francoise.eltges@ars.sante.fr</p>	<p><b>ARS/CVGS</b> Tél. : 05 96 39 42 52 Fax : 0596 39 44 26 Mail : josselin.vincent@ars.sante.fr</p>

**Directeur de la publication** : Dr Françoise Weber, Directrice générale de l'Institut de veille sanitaire

**Rédacteur en chef** : Martine Ledrans, Responsable scientifique de la Cire AG

**Maquettiste** : Claudine Suivant, Cire AG

**Comité de rédaction** : Vanessa Ardillon, Alain Blateau, Luisiane Carvalho, Dr Sylvie Cassadou, Dr Jean-Loup Chappert, Claude Flamand, Martine Ledrans, Marion Petit-Sinturel, Jacques Rosine.

**Diffusion** : Cire Antilles Guyane - Centre d'Affaires AGORA—Pointe des Grives. B.P. 656. 97261 Fort-de-France  
Tél. : 596 (0)596 39 43 54 - Fax : 596 (0)596 39 44 14