

2016

Campagne de mesures des émissions liées au trafic



Campagne de mesures des émissions liées au trafic

Etude 2016 - 2017




Octobre - Janvier

*Site d'accueil : Parking du cimetière au boulevard Mandela,
Cayenne*

Avertissement

Les informations contenues dans ce rapport traduisent la mesure d'un ensemble d'éléments à un instant t donné, caractérisé par des conditions climatiques propres.

L'ORA de Guyane ne saurait être tenu pour responsable des événements pouvant résulter de l'interprétation et/ou de l'utilisation des informations faites par un tiers.

| | Rédaction | Vérification | Approbation |
|----------------|---|--|---|
| Nom | Alexandre GATINEAU | Kathy PANECHOU-PULCHERIE | Rodolphe SORPS |
| Qualité | Ingénieur d'études | Directrice | Président |
| Visa |  |  |  |

SOMMAIRE

| | |
|---|----|
| Sommaire | 2 |
| Glossaire | 3 |
| Présentation de l'étude | 4 |
| Contexte de l'étude | 4 |
| Généralités sur la qualité de l'air en Guyane | 4 |
| Généralités sur les polluants réglementés | 5 |
| Cadre réglementaire de l'étude | 6 |
| Protocole mis en place | 6 |
| Station mobile INDY | 6 |
| Emplacement du site d'étude | 7 |
| Durée de la campagne de mesures | 7 |
| Résultats | 8 |
| Conditions météorologiques | 8 |
| Les particules en suspension | 8 |
| Le dioxyde d'azote | 12 |
| Le monoxyde de carbone | 14 |
| Conclusion | 16 |
| Bibliographie | 17 |
| Table des illustrations | 18 |

GLOSSAIRE

- INERIS : Institut **N**ational de l'**E**nviRonnement Industriel et des riSques
- INRS : Institut **N**ational de **R**echerche et de **S**écurité
- LCSQA : Laboratoire **C**entral de **S**urveillance de la **Q**ualité de l'**A**ir
- NO₂ : Dioxyde d'azote
- OMS : **O**rganisation **M**ondiale de la **S**anté
- ORA : **O**bservatoire **R**égional de l'**A**ir de Guyane
- PM10 : Particule de moins de 10 µm de diamètre/ particules en suspension

PRESENTATION DE L'ETUDE

L'Observatoire Régional de l'Air de Guyane compte 3 stations fixes de mesures de la qualité de l'air : deux dans l'île de Cayenne (Cayenne et Matoury) et une à Kourou. Elles y mesurent en continu trois polluants réglementés : les oxydes d'azote, l'ozone et les particules en suspension aussi appelées PM10. Ce sont des stations dites « de fond ».

Afin de répondre à la directive européenne 2008/50/CE, la surveillance des polluants réglementés en Guyane nécessite l'installation d'une nouvelle station sous l'influence du trafic de la **Zone Urbaine Régionale**¹, renommée **Zone à Risque (ZAR)** au 01/01/2017, conformément à l'arrêté du 26 décembre 2016 relatif au découpage des régions en Zones administratives de Surveillance de la Qualité de l'Air ambiant.

En 2014, une étude a donc été réalisée sur les concentrations de dioxyde d'azote, traceur de la pollution automobile, à travers l'île de Cayenne. Le but était de prospecter les futurs sites d'accueil potentiels de cette station « trafic ». Cette étude a permis de repérer plusieurs sites potentiels, dont celui exploité dans cette campagne : la route de la madeleine et, dans sa continuité, l'avenue Justin Catayée et le boulevard Nelson Mandela.

D'autres sites ont montré des concentrations en oxydes d'azotes plus élevées mais présentent cependant moins d'intérêt car la densité de population y est trop faible (aux abords de la voie rapide Collery/Larivot).

Cette étude a donc pour but de mesurer les concentrations maximales auxquelles la population résidant près d'une infrastructure routière est susceptible d'être exposée. Les valeurs mesurées seront confrontées aux normes environnementales en vigueur.

CONTEXTE DE L'ETUDE

GENERALITES SUR LA QUALITE DE L'AIR EN GUYANE

Actuellement, la principale pollution de l'air de Guyane est due aux particules des brumes du Sahara (ORA, 2014). D'origine naturelle, leur présence s'explique par la mise en suspension dans l'atmosphère de « particules désertiques » qui sont transportées de l'Afrique à l'Amérique dans une couche d'air sec appelée **Saharan Air Layer**² (Carlson & Prospero, 1972). Une partie de ces particules fait moins de 10 µm de diamètre, et peut pénétrer dans l'appareil respiratoire, entraînant des risques pour les personnes sensibles/vulnérables comme des crises d'asthme ou des irritations des voies respiratoires (Pope & Dockery, 2006). La période durant laquelle la Guyane est la plus touchée, s'étend de Janvier à Avril (voire Décembre à Mai), et peut être qualifiée de « saison des poussières ». Les seuils d'information et de recommandation (qualité de l'air mauvaise) et d'alerte (qualité de l'air très mauvaise) sont souvent dépassés.

Outre les poussières du Sahara, de nombreuses sources de pollution sont à relever sur le territoire Guyanais :

- En saison sèche, des **feux de broussailles et de décharges** se déclarent, entraînant l'émission de fumées asphyxiantes et irritantes, qui, si répétés, peuvent entraîner le développement de maladies graves chez les individus en raison de la présence de polluants à toxicités spécifiques telles que les HAP ou les dioxines.

1 Cayenne, Rémire-Montjoly, Matoury

2 SAL

- Dans le cadre de l'extermination de population d'insectes tels que les moustiques, mais aussi dans les zones agricoles, de nombreux **pesticides** sont utilisés, et présentent potentiellement un danger.
- **L'activité industrielle** de Guyane concentrée principalement à Kourou (Centre Spatial Guyanais, Pariacabo) et à Rémire-Montjoly (Dégrad-Des-Cannes) génère une pollution de l'air, ainsi que l'industrie aurifère qui quant à elle émet du mercure dans l'atmosphère, un métal lourd neurotoxique à durée de vie longue, donc persistant dans l'environnement.
- **La circulation automobile** génère des oxydes d'azote, des particules et est à l'origine indirecte de la synthèse d'ozone. Leurs concentrations varient en fonction de la densité du trafic automobile, avec des taux maximums en oxyde d'azote et en particules lors des heures de pointe.

GENERALITES SUR LES POLLUANTS REGLEMENTES

Le **NO³**, ainsi qu'une petite quantité de **NO₂** sont produits lors des combustions à haute température par la recombinaison du dioxygène et du diazote de l'air. Une fois dans l'atmosphère, en présence d'hydrocarbure et de lumière, le NO s'oxyde en NO₂. Le mélange de ces deux gaz est noté NOx⁴. La principale source d'émission des NOx est la **circulation automobile**.

Le NO₂ est un gaz irritant pour les bronches. Il peut augmenter la fréquence et la gravité des crises chez les asthmatiques, diminuer les défenses immunitaires et altérer les fonctions pulmonaires. Les NOx participent aux phénomènes des pluies acides et à la formation de l'ozone troposphérique, lui aussi, toxique (Masclat, 2005).

Les oxydes d'azote et les composés organiques volatils se transforment sous l'action du rayonnement solaire et donnent naissance à l'**ozone**, dont les concentrations maximales surviennent lorsque les températures et l'ensoleillement sont élevés. En Guyane, les précurseurs d'ozone proviennent principalement du **trafic routier**. L'ozone provoque toux, altérations pulmonaires, irritations oculaires. En outre, il freine l'absorption de l'eau ainsi que la photosynthèse des plantes.

Les **aérosols** sont des éléments solides ou liquides en suspension dans l'air. A l'échelle planétaire, leurs origines sont principalement naturelles, avec des émissions dues à l'érosion éolienne des sols, au bubling océanique, aux éruptions volcaniques ou encore à l'émission de pollens par la végétation. Les émissions anthropiques sont essentiellement dues à la combustion de matières fossiles et à des procédés industriels.

Les PM10 correspondent aux particules dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 10 micromètres. De nombreuses études épidémiologiques ont prouvé la relation entre l'exposition aux particules et l'augmentation de la mortalité et de la morbidité entraînée par des maladies respiratoires et cardiovasculaires (Pope & Dockery, 2006). A court terme, des investigations toxicologiques ont montré que, notamment pour les populations sensibles, une exposition aux particules était la cause d'inflammation des poumons (Mazzoli-Rocha, Fernandez, Einicker-Lamas, & Zin, 2010). Si l'exposition devient chronique, cela peut entraîner l'apparition de maladies pulmonaires obstructives chroniques et d'asthme chez les individus exposés (Ling & Van Eeden, 2009)

Le **monoxyde de carbone** est un produit de combustion incomplète. En Guyane, il provient principalement du trafic automobile avant d'être oxydé dans l'air en dioxyde de carbone.

C'est un gaz incolore et inodore mais très toxique. Le danger provient de sa capacité de combinaison avec les hémoprotéines, empêchant l'oxygénation tissulaire qui est normalement réalisé par l'oxygène fixé sur l'hémoglobine. En conséquence, le monoxyde de carbone provoque anoxie, trouble cardio-vasculaires,

³ Monoxyde d'azote

⁴ Oxydes d'azote

migraine, vertiges, trouble de la vision et peut être mortel, à forte concentration en cas d'exposition prolongée en milieu confiné.

CADRE REGLEMENTAIRE DE L'ETUDE

Les résultats des mesures sont interprétés en fonction des valeurs réglementaires définies dans le décret n°2010-1250 du 21 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air et portant la transposition de la Directive européenne 2008/50/CE concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe.

PROTOCOLE MIS EN PLACE

STATION MOBILE INDY

La station mobile nommée « **INDY** » a été mise en place au boulevard Mandela en septembre 2016.



Figure 1 : Photo de la station INDY sur le parking du boulevard Mandela

Elle est équipée d'appareils pour la surveillance du NO₂, du CO et des PM10 comme le montre le tableau suivant :

| Polluants mesurés | Modèle | Méthode de référence | Appareil homologué par le LCSQA |
|-------------------|------------|--|---------------------------------|
| NO ₂ | 42i | NF EN 14211 chimiluminescence | Oui |
| CO | 48i | NF EN 14626 rayonnement infrarouge | Oui |
| PM10 | TEOM 1405F | Méthode équivalente à NF EN 12341 gravimétrie sur filtre | Oui |

Tableau 1 : Appareils équipant INDY

« **CAIENA3** » est une station fixe de typologie urbaine dans la ville de Cayenne. Située dans l'enceinte du collège Auxence Contout, et est équipée des mêmes analyseurs que « **INDY** ». Elle servira de point de comparaison à notre étude.

EMPLACEMENT DU SITE D'ETUDE

La figure 2 présente l'emplacement du site d'étude à Cayenne. La station fixe « **CAIENA3** » se trouve à moins d'un km de distance à vol d'oiseau.

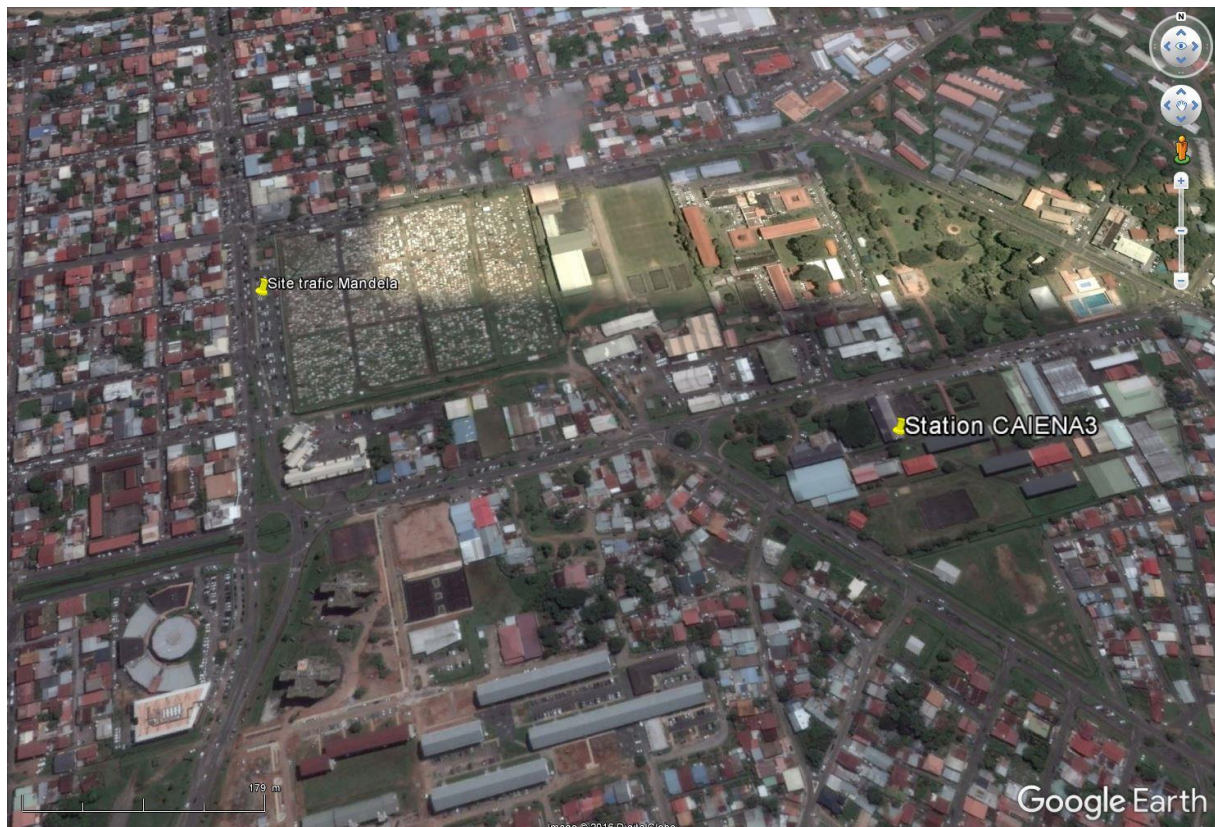


Figure 2 : Emplacement du site d'étude

L'emplacement exact de la station trafic doit respecter diverses contraintes réglementaires, notamment être à moins de 10m de la route, ce qui explique sa position sur le boulevard.

DUREE DE LA CAMPAGNE DE MESURES

Malgré une mise en place en septembre 2016, les mesures furent retardées par divers soucis techniques sur la climatisation de la station puis sur l'analyseur de particules PM10. La période de mesure prise en compte sera donc du 1^{er} octobre au 31 décembre pour le NO₂, du 16 novembre au 21 janvier pour les PM10 et du 27 octobre au 14 novembre pour le CO.

RESULTATS

CONDITIONS METEOROLOGIQUES

Le mois d'octobre a été très chaud et très sec. La pluviométrie montre un déficit significatif par rapport aux normales alors que les températures sont supérieures aux valeurs de saison.

Novembre subit le même sort, avec des pluies très en dessous des normales et des températures toujours supérieures aux moyennes.

Enfin décembre est marquée par le début de la saison des pluies, la ZIC descend sur la Guyane et offre une pluviométrie bien supérieure aux normales. Malgré la couverture nuageuse, les températures restent légèrement au-dessus des normales saisonnières.

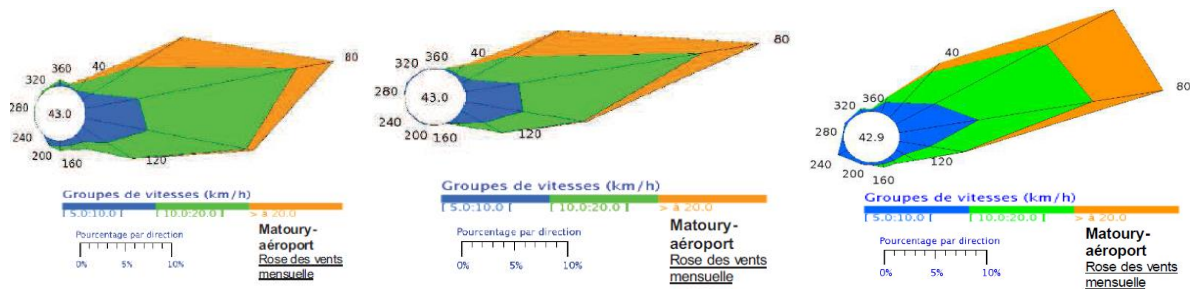


Figure 3 : Rose des vents d'octobre, novembre et décembre 2016



| Mois | Température moyenne | Précipitations à Cayenne | Ensoleillement |
|-----------------|---------------------|--------------------------|----------------|
| Octobre | 28,3°C | 0,5mm | 270,2h |
| Novembre | 28,3°C | 61,5mm | 237,7h |
| Décembre | 27,2°C | 485,0mm | 120,7h |

Tableau 2 : Relevés météo de Météo France

Le tableau ci-dessus récapitule les valeurs marquantes par mois. Les températures représentent la moyenne mensuelle pour tout le territoire, les précipitations correspondent aux relevés de Cayenne et l'ensoleillement est mesuré à l'aéroport de Matoury.

LES PARTICULES EN SUSPENSION

DONNEES JOURNALIERES

Les concentrations moyennes journalières sont visibles sur le graphe ci-après :

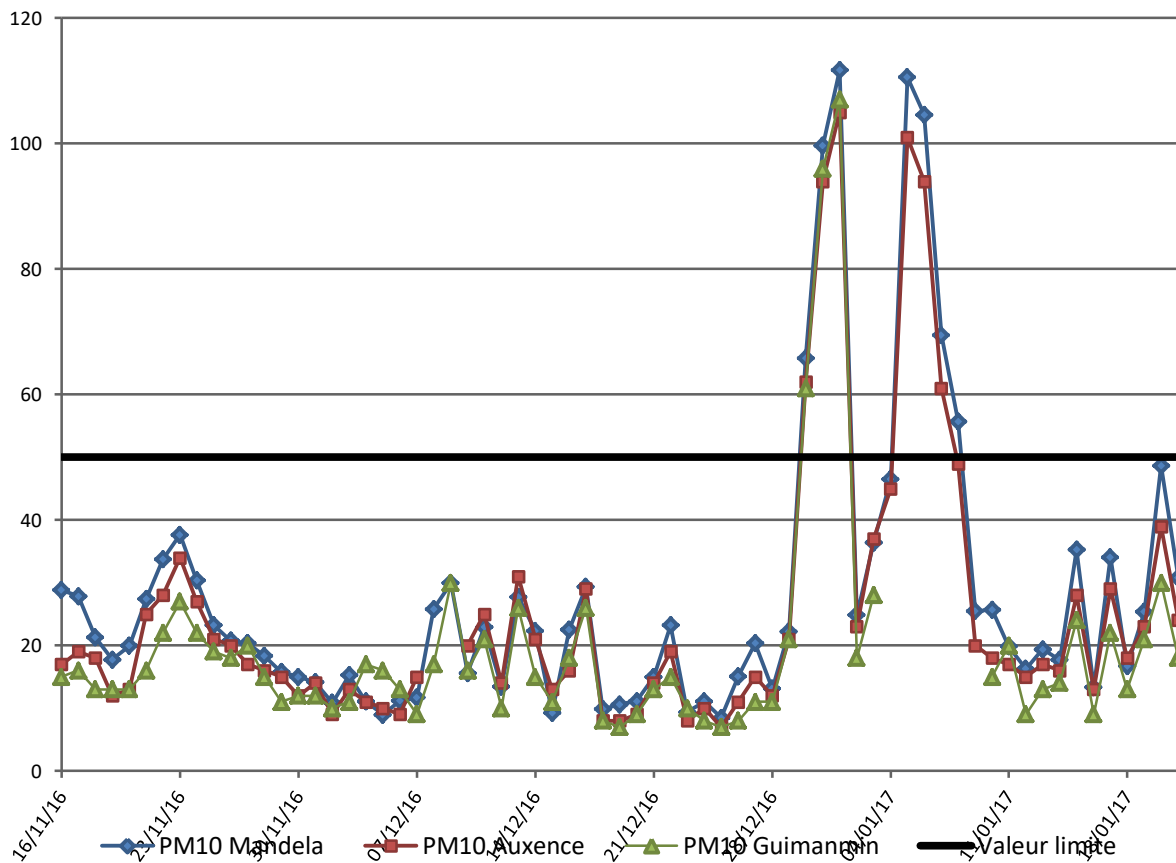


Figure 4 : Concentration journalières des PM10 sur 3 sites en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

On remarque tout de suite une forte corrélation entre les concentrations en PM10 sur les deux stations (en bleu et rouge, $R^2=0,99$). Les concentrations journalières de Matoury (en vert) ont été ajoutées pour renforcer la vision de ce phénomène. A première vue, les sites trafics et de fond de Cayenne ainsi que le site périurbain de Matoury sont sujets aux mêmes concentrations en poussières dans l'air et sont peu affectés par des sources locales.

La courbe bleue est tout de même au-dessus des deux autres courbes, probablement à cause de l'influence du trafic et autres activités humaines, plus importante que sur les deux autres sites.

| | PM10 Mandela | PM10 Auxence Contout |
|---------------------------|--------------|----------------------|
| Moyenne | 27,9 | 25,1 |
| Maximum journalier | 111,7 | 105 |

Tableau 3 : Moyenne et maximum des concentrations en PM10 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Sur la période, la concentration moyenne des PM10 au niveau du parking du boulevard Mandela a été supérieure de $2,8\mu\text{g}/\text{m}^3$ à celle du site Auxence Contout. Considérant l'incertitude liée à la mesure, cet écart est faible. En comparaison, la campagne sur le site de la gendarmerie avait montré un écart supérieur de $12\mu\text{g}/\text{m}^3$ à celle du site Auxence Contout.

Les valeurs extrêmement hautes des 30, 31 décembre et des 1, 5, 6, 7 et 8 janvier correspondent à des épisodes de pollution causés par des brumes de poussières du Sahara, visible en image satellite ci-dessous. Durant ces journées, la valeur limite de $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ de moyenne journalière a été dépassée.

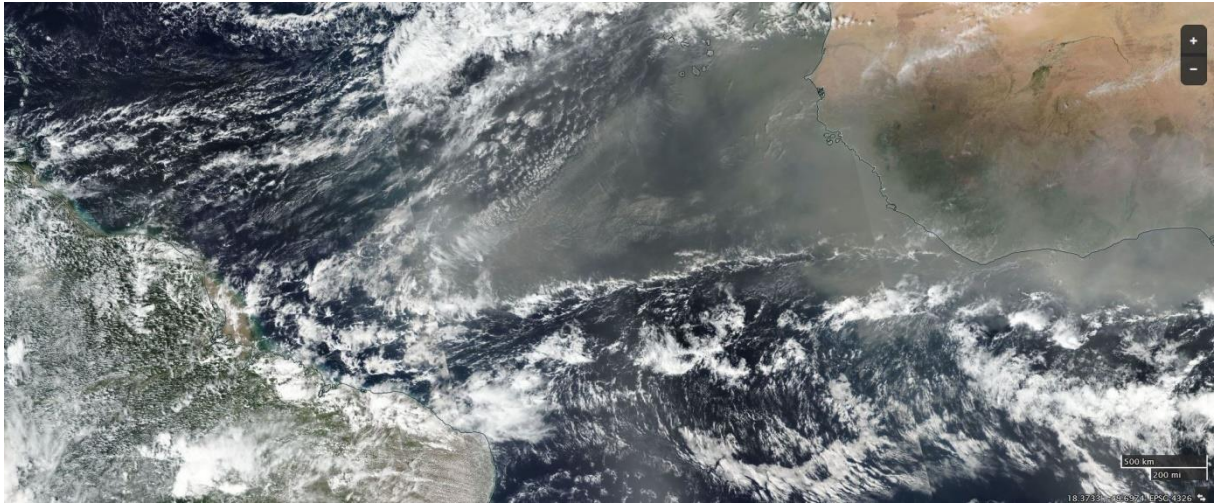


Figure 5 : traversée de la brume de sable du Sahara le 29 décembre 2016 © NASA

DONNEES HORAIRES

L'impact de l'homme sur la qualité de l'air est, de manière générale, mieux visible au niveau horaire que journalier, car les moyennes journalières sont minorées par les faibles valeurs nocturnes. La figure suivante montre les moyennes horaires du 9 au 21 janvier. Cette période a été choisie pour des raisons techniques et pour éviter d'avoir l'influence des poussières du Sahara d'avant le 9 janvier.

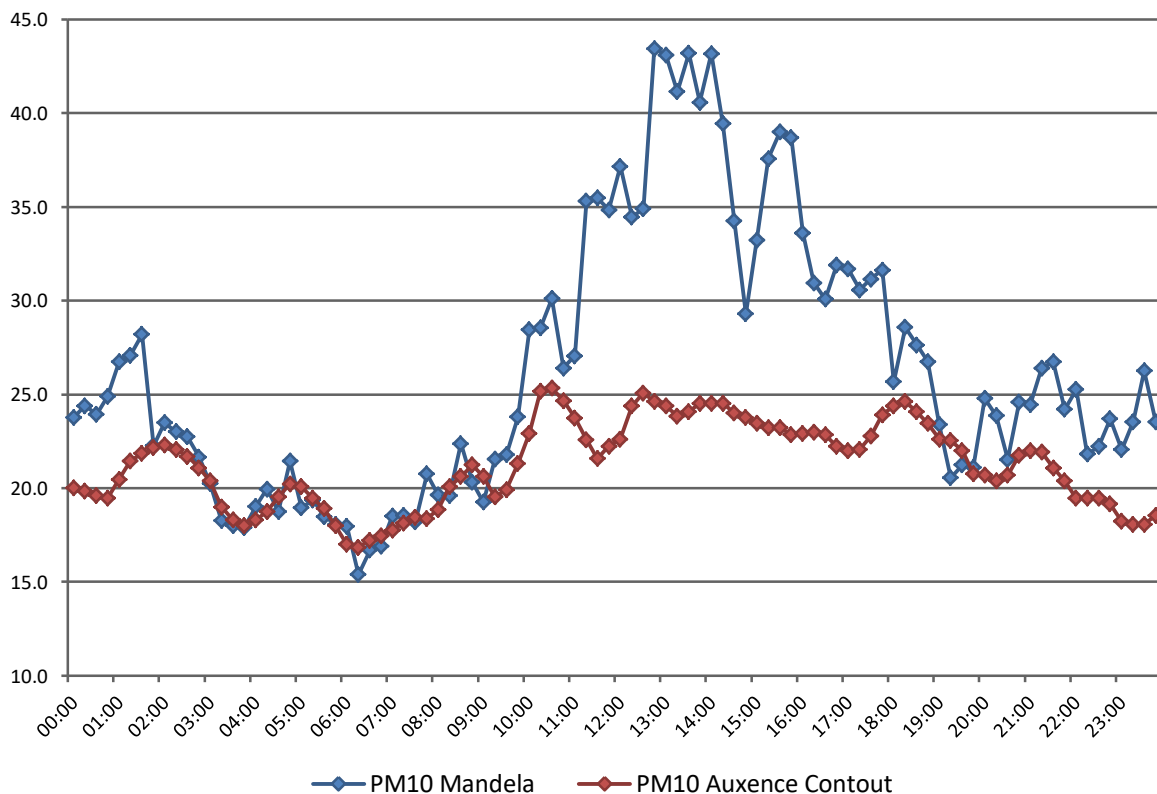


Figure 6 : Evolution des concentrations moyennes horaires des PM10 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ du 9 au 21 janvier 2017

On remarque que sur le site d'Auxence Contout, les moyennes horaires sont plutôt stables et restent globalement entre 15 et $25\mu\text{g}/\text{m}^3$. Les valeurs augmentent doucement dès 6h du matin pour atteindre leur maximum vers 10h30 et redescendent ensuite à partir de 18h. Il semblerait donc que l'activité humaine ait un impact de quelques $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur la concentration en PM10 à Auxence Contout.

Par contre, sur la station au boulevard Mandela, le cycle diurne semble bien plus marqué. En effet, les courbes rouges et bleues se suivent très bien dans la nuit jusqu'à 10h30 le matin. Mais là où les concentrations plafonnent à $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ à Auxence Contout, elles continuent d'augmenter pour avoisiner les $45\mu\text{g}/\text{m}^3$ entre 13h et 14h environ. Elles restent bien plus élevées tout l'après-midi pour ensuite retrouver des niveaux semblables après 19h. Ces niveaux de particules supérieurs proviennent probablement du trafic, beaucoup plus constant en journée sur le boulevard Mandela que dans la rue du collège Auxence Contout, mais aussi des activités environnantes (travaux, restaurants et roulottes, ...).

COMPARAISON AUX VALEURS DE REFERENCES

Pour les PM10, le seuil à ne pas dépasser est de $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ de moyenne journalière ainsi que $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ de moyenne annuelle. Le seuil de $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ est dépassé plusieurs fois mais cette pollution n'est pas imputable au trafic automobile du site mais aux poussières du Sahara.

LE DIOXYDE D'AZOTE

DONNEES JOURNALIERES

Contrairement aux particules en suspension, le dioxyde d'azote n'a pas ou très peu de sources naturelles en Guyane. Sa source majoritaire serait donc le trafic automobile. L'influence du site pourra voir un impact plus important sur les résultats.

La figure ci-dessous montre que les moyennes journalières restent faibles sur la période. Elles sont, au boulevard Mandela, supérieures aux concentrations observées dans l'enceinte du collège Auxence Contout mais l'écart reste faible.

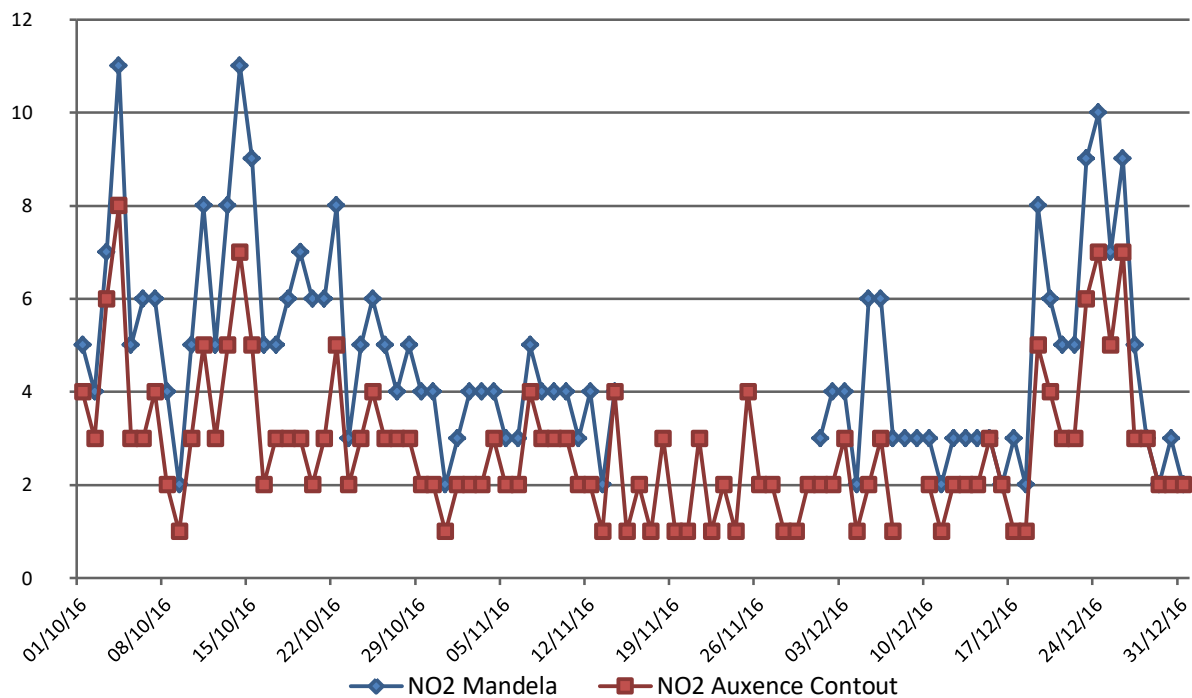


Figure 7 : Evolution des concentrations journalières du NO₂ en µg/m³

DONNEES HORAIRES

Sur le graphique ci-dessous, la période du 10 au 13 octobre a été choisie arbitrairement pour exemple. Un cycle est observé. La différence de concentrations est bien plus grande entre nos deux sites pendant les pics de trafic routier, aux alentours de 6h-9h du matin.

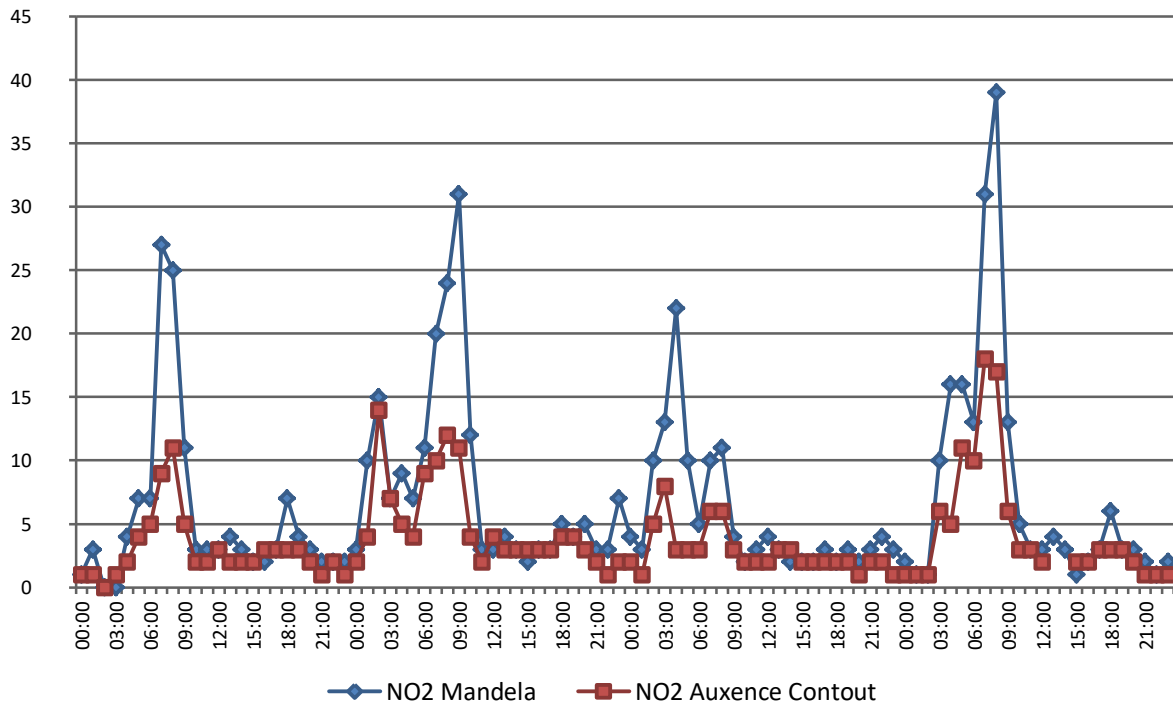


Figure 8 : Evolution des concentrations horaires du NO₂ en µg/m³ sur la période du 10 au 13 octobre

En moyenne, on observe que le NO₂ était environ 2µg/m³ supérieur au boulevard Mandela qu’au collège Auxence Contout sur la période entière⁵, cet écart est faible.

La concentration moyenne du NO₂ à la gendarmerie était 9µg/m³ plus élevée qu’au niveau du collège Auxence lors de la campagne précédente.

| | NO ₂ Mandela | NO ₂ Auxence Contout |
|------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| Moyenne | 5,0 | 3,1 |
| Maximum horaire | 39,0 | 30,0 |

Tableau 4 : Moyenne et maximum des concentrations en NO₂ en µg/m³

La figure suivante montre le profil des concentrations horaires moyennes sur toute la période : on voit aisément que le plus gros des émissions de NO₂, sur les deux sites, se fait aux heures de pointe, entre 6h et 9h du matin.

⁵ Du 1^{er} Octobre au 31 Décembre

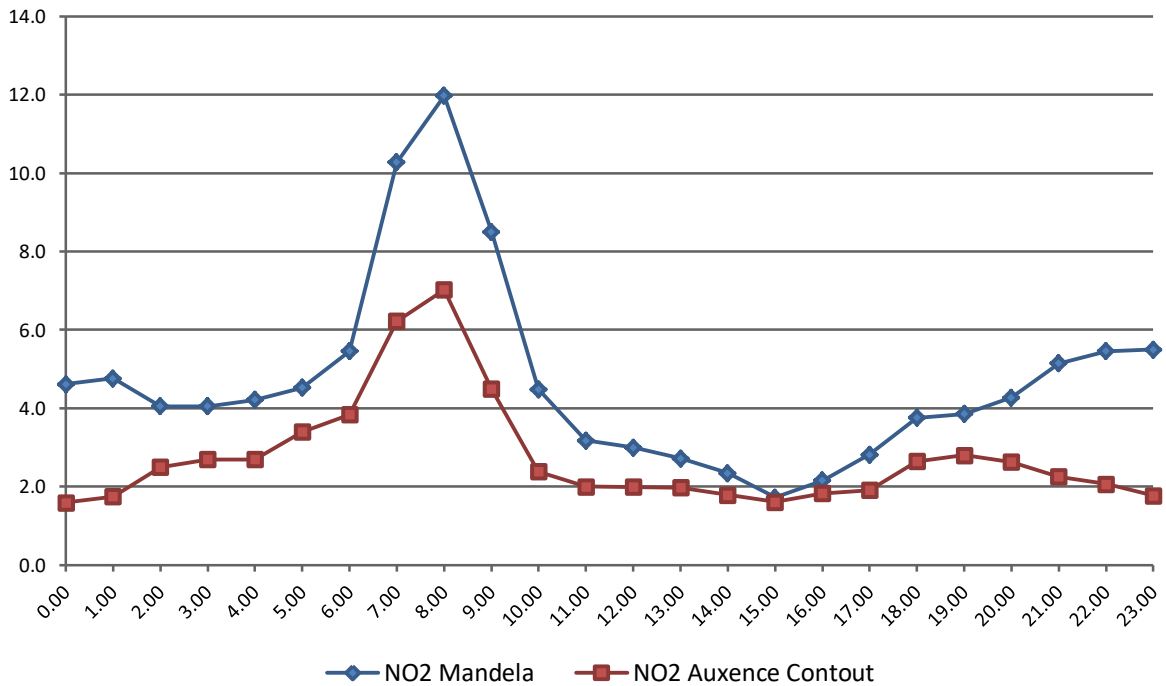


Figure 9 : Profil des concentrations horaires moyennes sur toute la période en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

COMPARAISON AUX VALEURS DE REFERENCE

La valeur limite pour le dioxyde d'azote est fixée à $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ de moyenne horaire ainsi qu'à $40\mu\text{g}/\text{m}^3$ de moyenne annuelle. Le maxima est de $39\mu\text{g}/\text{m}^3$ boulevard Mandela contre $30\mu\text{g}/\text{m}^3$ au collège Auxence Contout. Les seuils ne sont pas dépassés et les oxydes d'azote ne représentent que peu de danger pour la population avoisinante.

LE MONOXYDE DE CARBONE

DONNEES JOURNALIERES

Le CO est, comme le NO_2 , principalement issu du trafic automobile. Pour cause de problèmes techniques sur l'instrument, des mesures valides n'ont pu être réalisées que du 27 octobre au 14 novembre.

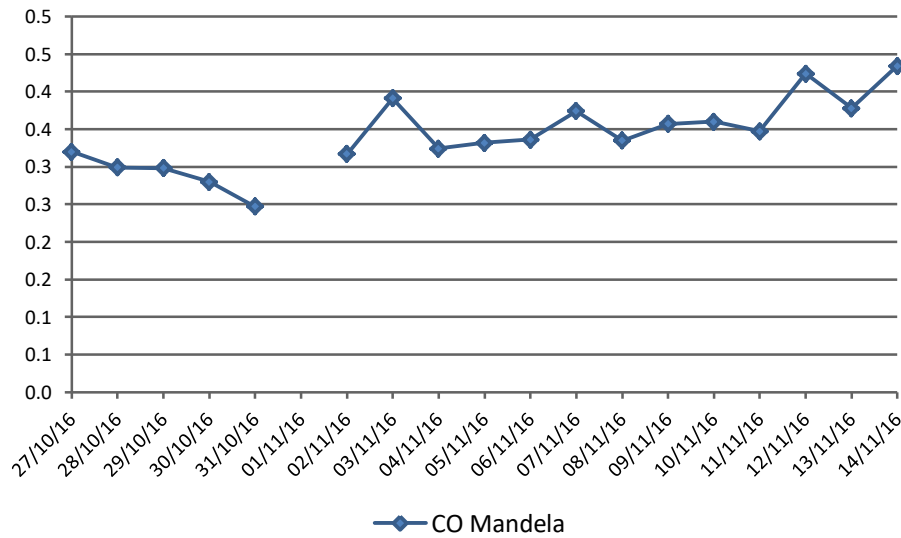


Figure 10 : Evolution des concentrations journalières du CO en mg/m³

Les valeurs des concentrations moyennes journalières en CO ci-dessus sont semblables à celles relevées lors de la campagne sur la gendarmerie de la madeleine et ne montrent aucune anomalie.

DONNEES HORAIRES

La période du 27 au 30 octobre a été choisie comme exemple pour illustrer la possible corrélation entre les concentrations horaires du CO et du NO₂ à Mandela :

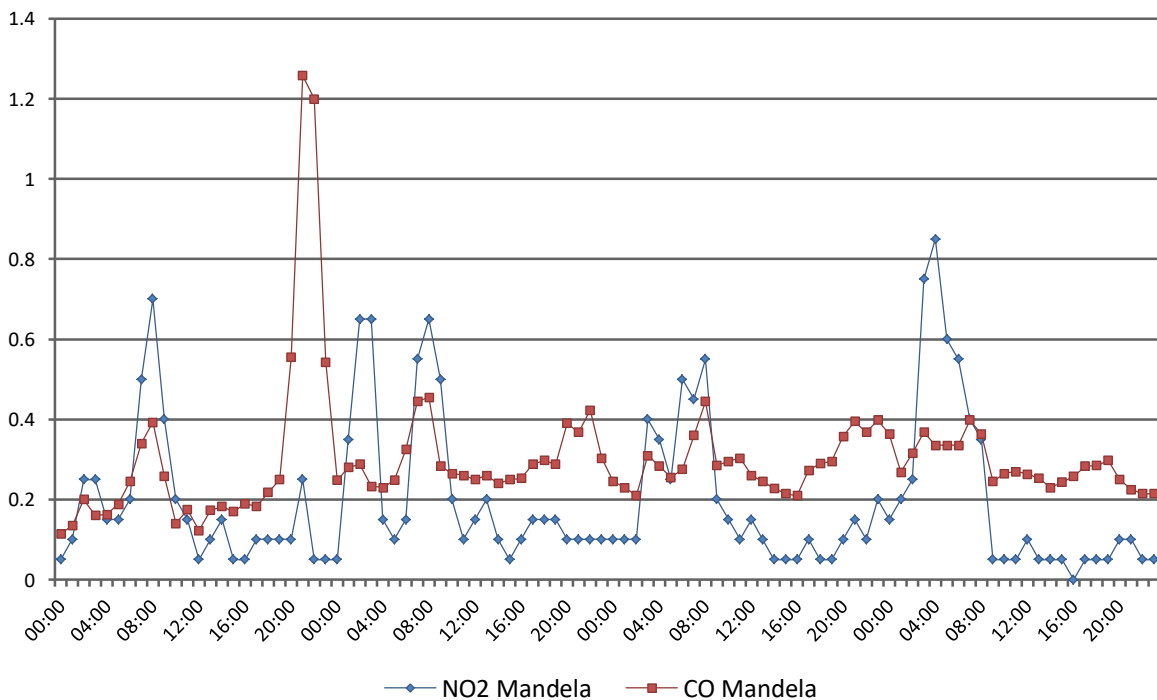


Figure 11 : Evolution des concentrations horaires du CO en mg/m³

Pour une meilleure observation des corrélations, les concentrations du NO₂ ont été divisées par 20 sur le graphe. Certains pics de CO et de NO₂ sont bien corrélés, d'autres moins. La corrélation était plus forte entre ces deux gaz sur le site de la gendarmerie.

| CO Gendarmerie | |
|------------------------|------|
| Moyenne | 0,34 |
| Moyenne maximum sur 8h | 0,58 |

Tableau 5 : Moyenne et maximum des concentrations en CO en mg/m³

COMPARAISON AUX VALEURS DE REFERENCE

Pour le monoxyde de carbone, sa valeur de référence se mesure comme une moyenne de 10mg/m³ à ne pas dépasser sur 8h. La moyenne sur 8h la plus élevée est de 0.58mg/m³. Comme pour le dioxyde d'azote, les concentrations en CO sont en dessous des valeurs de référence et ne présentent pas de danger immédiat pour les riverains.

CONCLUSION

L'étude a couvert une période de plusieurs mois de mesures sur le parking du cimetière au boulevard Mandela. La qualité de l'air est durant plusieurs journées impactée par le passage des brumes de poussières du Sahara.

On observe des concentrations en PM10 globalement proches entre le site trafic et le site de fond avec tout de même des valeurs plus élevées sur le site trafic, notamment durant les heures de pointes. Il en est de même pour le dioxyde d'azote. Les concentrations sont assez proches en moyenne sur la période mais les écarts s'agrandissent aux heures de pointe, du fait que la station est plus proche du trafic et que ce dernier soit plus important sur cet axe routier. Les variations des concentrations du monoxyde de carbone suivent parfois celles du NO₂, parfois moins. Néanmoins les concentrations de ces deux gaz dans l'air restent faibles comparées aux seuils réglementaires.

L'impact du trafic sur la qualité de l'air est donc observable au boulevard Mandela mais reste modéré et semble moins important qu'au niveau de la route de la madeleine, comme le montre la figure page suivante. L'ORA de Guyane poursuivra ses mesures sur d'autres sites afin de déterminer le site le plus propice à l'installation d'une station fixe dédiée au trafic, en utilisant notamment des tubes passifs NO₂ pour préciser les recherches.

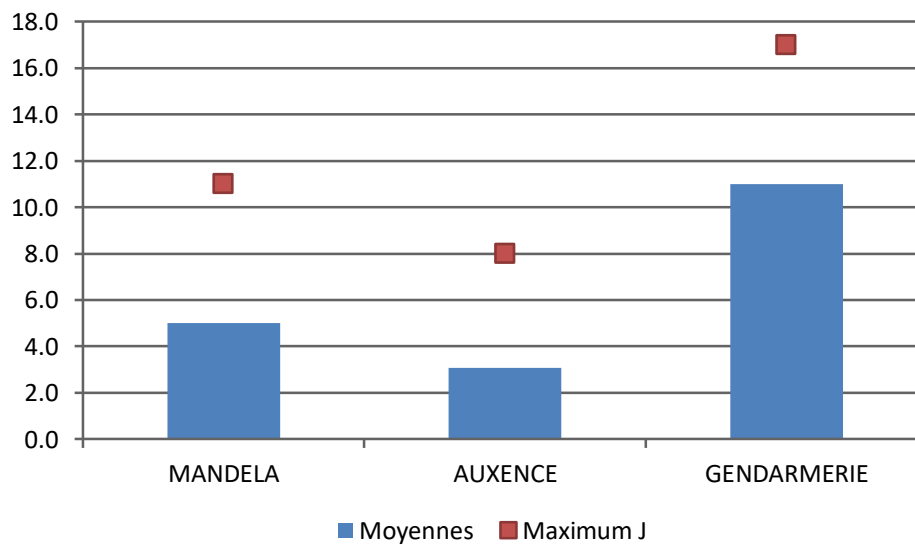


Figure 12 : Comparaison des moyennes et maximum journaliers de NO₂ de chaque site en µg/m³

Pour rappel, les mesures de la gendarmerie ont été réalisées de février à mars 2016, et celle du boulevard Mandela d'octobre 2016 à janvier 2017. Les paramètres météorologiques ont pu influencer les résultats.

BIBLIOGRAPHIE

- Carlson, & Prospero. (1972). The large movement scale of Saharan air outbreaks over the northern equatorial Atlantic. *J. Appl. Meteorol*, pp. 283-297.
- Ling, S., & Van Eeden, S. (2009). Particulate matter air pollution exposure : role in the development and exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*, pp. 233-243.
- Masclat, P. (2005). *Pollution atmosphérique : environnement ; causes, conséquences, solutions, perspectives*. Paris: Ellipses.
- Mazzoli-Rocha, F., Fernandez, S., Einicker-Lamas, M., & Zin, W. (2010). Roles of oxidative stress in signaling inflammation induced by particulate matter. *Cell Biol Toxicol*, pp. 481-498.
- ORA. (2014). *Surveillance de la qualité de l'air en Guyane, rapport d'activité 2013*.
- Pope, C., & Dockery, D. (2006). Health effects of fine particulate air pollution : lines that connect. *J Air Waste Manag Assoc*, pp. 709-742.

TABLE DES ILLUSTRATIONS

| | |
|--|-----------|
| <i>Tableau 1 : Appareils équipant INDY.....</i> | <i>6</i> |
| <i>Tableau 2 : Relevés météo de Météo France.....</i> | <i>8</i> |
| <i>Tableau 3 : Moyenne et maximum des concentrations en PM10 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.....</i> | <i>9</i> |
| <i>Tableau 4 : Moyenne et maximum des concentrations en NO₂ en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.....</i> | <i>13</i> |
| <i>Tableau 5 : Moyenne et maximum des concentrations en CO en mg/m^3.....</i> | <i>16</i> |
| | |
| <i>Figure 1 : Photo de la station INDY sur le parking du boulevard Mandela.....</i> | <i>6</i> |
| <i>Figure 2 : Emplacement du site d'étude.....</i> | <i>7</i> |
| <i>Figure 3 : Rose des vents d'octobre, novembre et décembre 2016.....</i> | <i>8</i> |
| <i>Figure 4 : Concentration journalières des PM10 sur 3 sites en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.....</i> | <i>9</i> |
| <i>Figure 5 : traversée de la brume de sable du Sahara le 29 décembre 2016 © NASA.....</i> | <i>10</i> |
| <i>Figure 6 : Evolution des concentrations moyennes horaires des PM10 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ du 9 au 21 janvier 2017.....</i> | <i>11</i> |
| <i>Figure 7 : Evolution des concentrations journalières du NO₂ en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.....</i> | <i>12</i> |
| <i>Figure 8 : Evolution des concentrations horaires du NO₂ en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur la période du 10 au 13 octobre.....</i> | <i>13</i> |
| <i>Figure 9 : Profil des concentrations horaires moyennes sur toute la période en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.....</i> | <i>14</i> |
| <i>Figure 10 : Evolution des concentrations journalières du CO en mg/m^3.....</i> | <i>15</i> |
| <i>Figure 11 : Evolution des concentrations horaires du CO en mg/m^3.....</i> | <i>15</i> |
| <i>Figure 12 : Comparaison des moyennes et maximum de NO₂ de chaque site en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.....</i> | <i>17</i> |