

Dispositif de lutte contre les feux de végétation 2013

Mise en place d'une base de données des composés chimiques présents dans les fumées de feux de végétation Guyanais

30/01/2014

Ref : 09-13-TPCP-S

***ORA de Guyane
Pointe Buzaré
97345 Cayenne
Tel : 05 94 28 22 70
Fax : 05 94 30 32 58
www.ora-guyane.org***



Dispositif de lutte contre les feux de végétation 2013

*Mise en place d'une base de données des composés chimiques
présents dans les fumées de feux de végétation en Guyane
Française*

Sinnamary, Maison de la Nature

ORA de Guyane

Septembre 2013

Avertissement

Les informations contenues dans ce rapport traduisent la mesure d'un ensemble d'éléments à un instant donné t, 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	Alexis JEANNOT	Kathy PANECHOU- PULCHERIE	Rodolphe Sorps
Qualité	Ingénieur d'étude	Directrice	Président
Visa			

Liste des sigles et acronymes

- ATEX : ATmosphère Explosive
- CEREN : Centre d'Essais et de Recherche de l'Entente Valabre
- CO : Monoxyde de carbone
- CO₂ : Dioxyde de carbone
- COV : Composé Organique Volatil
- GEPOG : Groupe d'Etude et de Protection des Oiseaux de Guyane
- H₂ : Dihydrogène
- HAP : Hydrocarbure Aromatique Polycyclique
- INERIS : Institut National de l'EnviRonnement Industriel et des riSques
- INRS : Institut National de Recherche et de Sécurité
- IRCSS : Istituto di Ricovero e Cura, riconosciuto a Carattere Scientifico.
- CH₄: Méthane
- O₃ : Ozone
- OMS : Organisation Mondiale de la Santé
- ORA : Observatoire Régional de l'Air
- PM 2.5 : Particule de moins de 2.5 µm de diamètre/ particules fines
- PM 10 : Particule de moins de 10 µm de diamètre/ particules en suspension
- VLCT : Valeur Limite à Court Termes
- VME : Valeur Moyenne d'Exposition

Sommaire

Liste des sigles et acronymes	2
Introduction	4
I. Généralités	4
1. Dispositif de lutte contre les feux de végétation 2013	4
2. Généralité sur les feux de végétation	4
3. Généralités sur les composés mesurés	5
a. Composés Organiques Volatils	5
b. Particules	5
II. Protocoles	6
1. Dispositif et méthode de prélèvement	6
a. Prélèvement des COV par tube passif	6
b. Etude des particules avec un compteur de particule	8
c. Station météorologique	8
2. Mise en place du dispositif	8
III. Résultats de la campagne de mesures	10
1. Conditions météorologiques	10
2. Composés organiques volatiles	11
a. Assurance qualité	11
b. Résultats	12
c. Discussions	13
3. Particules	15
a. Résultats	15
IV. Discussions	16
Conclusion	18
Bibliographie	19
Table des illustrations	20
Annexe : définition des personnes sensibles	20

Introduction

I. Généralités

1. Dispositif de lutte contre les feux de végétation 2013

Pour la première fois en 2013, un plan de lutte contre les feux de végétation a été mis en place. En effet, les nombreux feux sauvages pendant les saisons sèches, le manque de connaissance et de données sur ce thème à l'échelle locale, les spécificités de l'habitat et des coutumes guyanaises l'ont rendu nécessaire.

Piloté par la Préfecture, celui-ci réunit de nombreux acteurs locaux afin d'améliorer le pouvoir d'action des structures compétentes, de diminuer les risques de départs de feux et d'enrichir les connaissances sur ce qui est un enjeu important de sécurité pour la Guyane.

Dans ce cadre, en complément de la surveillance quotidienne de la qualité de l'air réalisée dans les villes de la région, l'ORA de Guyane a effectué des mesures de COV et de particules afin d'améliorer la connaissance de l'impact et du comportement des fumées en fonction du type de végétation brûlée. Cela c'est déroulée le 14 septembre 2013, aux Pripris de Yiyi, dans la commune de Sinnamary dans le cadre des travaux d'observation de l'adaptabilité de la faune et de la flore menées par les associations SEPANGUY et GEPOG. Deux parcelles de savane ont été brûlées. Les flammes étant maîtrisés par les bénévoles des associations ainsi que par des sapeurs-pompiers, les prélèvements des COV et les mesures de particules ont pu être effectués en toute sécurité.

Cette étude s'appuie en partie sur l'expérience et sur des études déjà menées par le CEREN (CEREN, 2012) qui œuvre sur ce thème depuis 1992. Ce premier travail devra être poursuivi et complété au fil des années avec de nouvelles mesures pour construire une base de données importante pour mieux connaître et mieux lutter contre les feux de végétation.

2. Généralité sur les feux de végétation

Un incendie a lieu lorsqu'il y a réunion des trois facteurs composants le triangle du feu : un combustible, une source de chaleur et de l'oxygène. Le mécanisme de propagation du feu peut être divisé en plusieurs phases (LEROY, 2007).

- Il y a une première phase, où la végétation se déshydrate et émet des COV sous l'action des transferts thermiques en provenance de flammes. La plupart des espèces végétales impliquées dans les feux de forêt produisent et émettent des composés organiques volatils¹ notamment les monoterpènes et les sesquiterpènes. Ces gaz ont des limites inférieures d'inflammabilité de l'ordre de 1% volumique dans l'air et sont fortement inflammables. Dans certaines conditions (humidité, topographie...) ces COV émis pourraient s'accumuler près du sol en concentration suffisante pour former un mélange inflammable avec l'air et entraîner un embrasement généralisé

¹ COV

éclair. En Guyane, les caractéristiques pour ce type de phénomène en milieu extérieur ne semblent pas réunies.

- Durant une seconde phase, la température du solide augmentant, le bois commence à se décomposer via des réactions de pyrolyse conduisant à la formation d'un mélange gazeux combustible. Ce mélange s'oxyde au contact de l'air ambiant dans la flamme, entraînant la propagation du feu à travers la végétation.
 - Entre 373K² et 700K, il y a émission de gaz et de composés volatils due à la dégradation de la cellulose et de l'hémicellulose
 - Entre 700K et 900K, il y a oxydation du résidu carbonneux formé par la dégradation de la lignine et des hémicelluloses.
 - Les hémicelluloses et la cellulose sont dégradées en passant par un intermédiaire instable : le levoglucosan, qui produit de l'acide acétique du méthanol et de l'acide formique. De nombreux autres COV sont émis durant cette phase. Ensuite, ces produits, dits primaires, se décomposent entraînant la production des gaz combustibles tels que le CO, le CH₄ le H₂ et le CO₂.

3. Généralités sur les composés mesurés

a. Composés Organiques Volatils

Les molécules de la classe des Composés Organiques Volatils contiennent l'élément Carbone et un ou plusieurs des atomes suivants : hydrogène, halogène, oxygène, soufre, silicium, azote et phosphore. Il y a certaines exceptions à cette règle telles que les oxydes de carbone, les carbonates et bicarbonates inorganiques qui ne sont pas considérés comme COV, ainsi que le méthane qui, du fait de ses spécificités est un cas particulier. Les COV peuvent présenter une toxicité particulière et avoir un impact sur la santé des êtres vivants, comme le benzène qui peut provoquer des leucémies (INERIS, 2006).

b. Particules

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 sensibles³, une exposition aux particules était la cause d'inflammations 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).

Les particules fines et ultrafines sont les plus dangereuses par leur capacité à atteindre les alvéoles pulmonaires où elles se déposent et provoquent des inflammations, les particules ultrafines pouvant être transférées dans le sang (Happo, et al., 2008) (Huang, Hsu, & Chan,

² Kelvin

³ Voir Annexe : définition des personnes sensibles

2003) (Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, 2012). Dans les pays de l'union Européenne, l'exposition aux particules fines d'origine anthropique réduit en moyenne l'espérance de vie de 8.6 mois (World Health Organization, 2011).

Dans cette étude, deux tailles granulométriques de particules sont étudiées :

- Les PM10 qui correspondent aux particules dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 10 micromètres.
- Les PM2.5 qui correspondent aux particules dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 2.5 micromètres. Etant plus fines que les PM10, elles pénètrent plus profondément dans l'appareil respiratoire, jusqu'aux alvéoles pulmonaires, et sont plus nocives pour la santé.

II. Protocoles

1. Dispositif et méthode de prélèvement

a. Prélèvement des COV par tube passif

La campagne de mesure a été réalisée à partir d'échantillonneurs passifs de type Radiello. Les échantillonneurs passifs de COV se présentent sous la forme d'une cartouche adsorbante composée de filet d'acier inoxydable remplie de Tenax TATM 25-30 mesh (référence Radiello - code 147) et placée dans un corps diffusif poreux. Ce corps diffusif est fixé en position horizontale sur un support triangulaire disposé dans un abri de protection afin de le protéger contre les intempéries et le vent. Les composés organiques volatils sont piégés par adsorption puis analysés par désorption thermique avant d'être dosés par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse. Les échantillonneurs sont fournis et analysés par le laboratoire IRCSS de la fondation scientifique italienne Salvatore Maugeri.

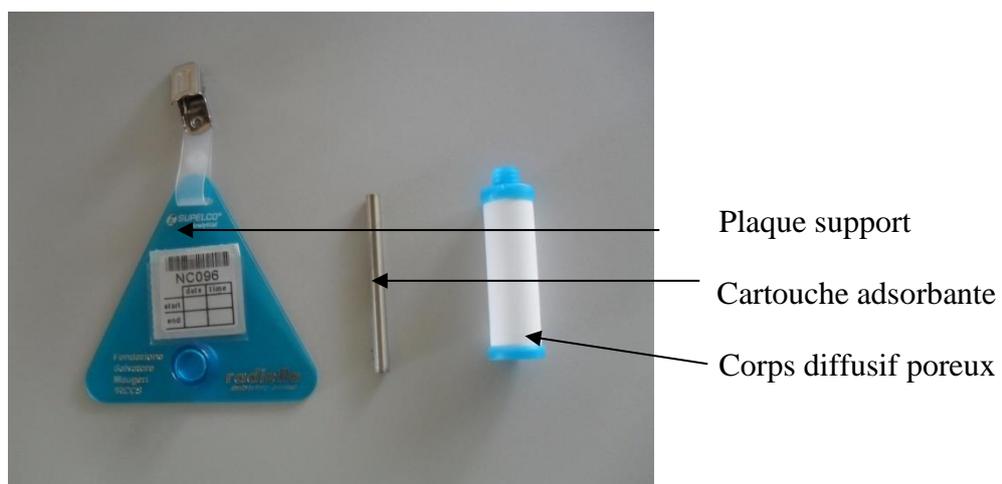


Figure 1 : Echantillonneur passif

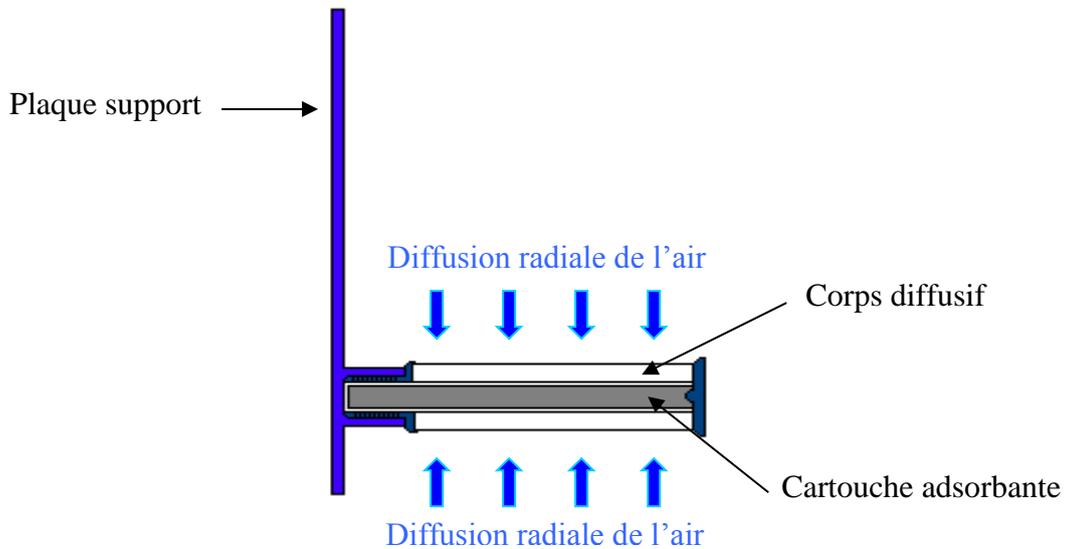


Figure 2 : schéma de l'échantillonneur passif

Avantages et limites de l'échantillonnage passif

Cette technique permet de couvrir une vaste zone géographique et ainsi d'équiper un nombre important de sites en même temps. Elle fonctionne de manière autonome, ne requiert pas d'entretien et surtout ne nécessite pas d'apport d'énergie. Elle peut donc être utilisée dans les zones à risque comme les zones ATEX⁴. De plus, ces échantillonneurs ne nécessitent pas d'étalonnage sur le terrain. Leur préparation, leur mise en œuvre et leur analyse sont faciles.

Cependant, ne fournissant pas de données en temps réel, cette technique ne permet pas d'observer les pics de pollution et l'évolution journalière de la concentration dans le temps. En outre, lors de mesures de COV effectuées à l'échelle du $\mu\text{g}/\text{m}^3$, l'humidité relative peut avoir un impact sur la qualité des prélèvements : il y aura compétition entre les COV et l'eau pour s'adsorber à la surface de l'adsorbant (BEGHI, 2007).

La compagnie Radiello donne des valeurs météorologiques limites d'utilisation de la méthode « Radiello - code 145 » au-delà desquelles le débit de piégeage des COV est légèrement modifié (Radiello, 2007) :

Paramètre	Température	Humidité Relative	Vitesse du vent
Intervalle	15-35°C	15-90%	0.1-10 m/s

Tableau 1 : données météorologiques permettant une efficacité optimale de la méthode Radiello

En Guyane, l'humidité relative étant importante, la valeur limite haute préconisée par Radiello (90%) est parfois dépassée, plus particulièrement lors de la saison des pluies, et pourra expliquer certaines incertitudes et écarts des échantillons blancs et des doublons de la campagne de mesure. Le risque serait des valeurs de concentrations sous-estimées.

⁴ ATmosphères EXplosibles

b. Etude des particules avec un compteur de particule

Un appareil Handheld 3016 IAQ de la société Lighthouse est utilisé afin de mesurer les particules de 6 granulométries différentes simultanément, tout en étant capable de déterminer les concentrations en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, de mesurer la température et l'humidité relative ambiante.



Figure 3 : compteur de particule Handheld 3016 IAQ

c. Station météorologique

Une station météorologique Davis Vantage pro a été installée afin de connaître l'influence des vents, de la température, de la pluviométrie et de l'humidité relative sur nos résultats.



Figure 4 : station Vantage Pro 2 installée à l'école Guimanmin, Matoury

2. Mise en place du dispositif

La station météorologique est placée dans l'enceinte de la maison de la nature de Sinnamary, au sein d'un emplacement bien aéré, à une distance raisonnable des arbres et des bâtiments pouvant influencer sur le vent.

Les vents d'Est étant dominants dans la région de Sinnamary, un premier tube passif Radiello est installé dans le 1^{er} coupe-feu de façon à prélever les COV émis lors de la mise à feu de la 1^{ère} parcelle. Le second tube ainsi que le compteur de particules sont déposés au second coupe-feu afin d'effectuer les mesures des polluants émis à la fois par la mise à feu des

parcelles 1 et 2 (voir Figure 5). Les caractéristiques de ces prélèvements sont résumées dans le Tableau 2.

Numéro de tube passif	Emplacement	Date	Heure de début de prélèvement	Heure de fin de prélèvement	Durée totale
1	1 ^{er} coupe feux	14/9/13	08:45	13:30	4 :45
2	2 nd coupe feux	14/9/13	09:05	13:35	4 :30

Tableau 2 : caractéristiques des prélèvements par tubes passifs

Les tubes passifs sont transportés dans une glacière afin d'éviter toute contamination avant et après l'expérimentation. Lors du début de la mise à feu, les cartouches adsorbantes sont sorties de leur récipient en verre et placées dans le corps diffusif poreux qui est ensuite fixé sur le support triangulaire. A la fin de l'expérience, les cartouches sont remises dans leur contenant en verre et placées dans la glacière durant le trajet jusqu'aux locaux de l'ORA. Enfin, ils sont stockés dans un frigo à une température de moins de 4°C avant l'envoi au laboratoire d'analyse.

Afin d'assurer une bonne qualité des données, des tubes blancs terrains et laboratoires sont réalisés. Le blanc terrain est un tube passif qui suit les mêmes manipulations que les échantillons (stockage, transport sur site puis envoi au laboratoire), sans être exposé. Il permet de vérifier qu'aucune contamination ne touche les tubes pendant les différentes étapes de la campagne de mesures. Le blanc transport reste stocké dans un frigo, afin de prévenir les problèmes qui auraient pu avoir lieu lors de la livraison des tubes, puis du renvoi en Italie au laboratoire d'analyses.





Figure 5 : dispositif mis en place

Le compteur de particules est programmé pour donner une mesure toute les dix minutes, avec un temps d'arrêt de 10 secondes entre chacune d'elles. Les mesures sont effectuées de 9:25 à 13:00.

III. Résultats de la campagne de mesures

1. Conditions météorologiques

Les conditions météorologiques ayant une influence sur la dispersion et la transformation des polluants, il est indispensable de les prendre en compte lors de la surveillance de la qualité de l'air.

- Le vent joue un rôle important dans la dispersion et le déplacement des polluants dans l'atmosphère. Plus un vent sera fort et meilleure sera la dilution d'une pollution, entraînant une amélioration de la qualité de l'air. La direction des vents influe sur le déplacement des composés chimiques présents dans l'air, donc sur les zones qui seront impactées par ces derniers.
- La pluie entraîne un lessivage de l'atmosphère, par la diminution des concentrations en polluants dans l'air. Il y a soit incorporation du composé qui se solubilise dans la goutte d'eau, soit abattement par effet mécanique des polluants ensuite transférés dans les sols et les eaux de surfaces.
- En condition « normale », la température diminue avec l'altitude. Cependant, il arrive que cela s'inverse, entraînant un phénomène appelé couche d'inversion. La dispersion verticale des polluants est bloquée et provoque une dégradation de la qualité de l'air.
- Plus la lumière et la température seront élevées et plus la dégradation des composés organiques volatils et des oxydes d'azote par des réactions avec les radicaux hydroxyles sera importante et générera de l'ozone.

	Température	Humidité relative	Vitesse du vent	Pression	Pluviométrie
Moyenne	30.2°C	73%	1.7m/s	1011.7 bar	0 mm
Maximum relevé	31.7°C	87%	2.2m/s	1012.6 bar	0 mm
Heure du maximum	12:25	8:30	9:25	11:20	/
Minimum relevé	27°C	66%	0.9m/s	1010.4 bar	0 mm
Heure du minimum	8:30	12:35	8:30	14:20	/

Tableau 3 : conditions météorologiques lors de la campagne de mesures

Au court des mesures, l'absence de pluie et la faible vitesse du vent ne favorisent pas la diminution de la pollution atmosphérique par dilution ou transfert du milieu aérien au milieu terrestre. Cependant, les températures élevées couplées à un fort ensoleillement entraînent une dégradation des COV par réactions photochimiques, résultant par la synthèse d'ozone (voir Tableau 3).

Les conditions de température, de vent et d'humidité relative sont comprises dans les intervalles d'utilisation des tubes passifs préconisés par la société Radiello (voir Tableau 1).

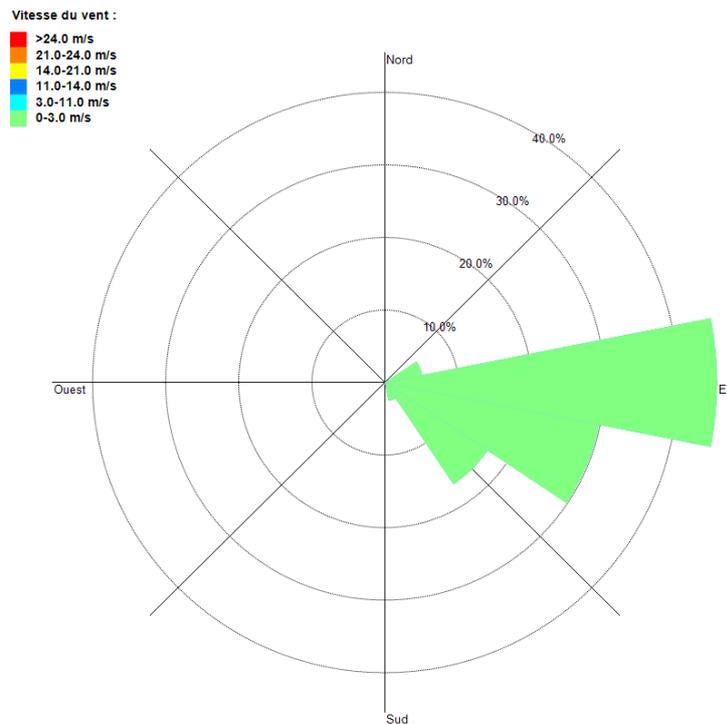


Figure 6 : rose des vents lors de la campagne de mesures

Les vents dominants soufflants d'Est Sud-Est (voir ci-dessus), le déplacement des produits de combustion se fait en direction de nos équipements de mesures ce qui valide leur positionnement afin d'étudier la composition des fumées (voir Figure 6 et Figure 5).

2. Composés organiques volatiles

a. Assurance qualité

Les blancs

	Unité de mesure	méthyl éthyl cétone	n-hexane	crotonaldéhyde	benzène	n-heptane	pyridine	toluène
Blanc transport	µg	0.017	0.003	< 0,001	0.006	< 0,001	< 0,001	0.004
Blanc frigo	µg	< 0,001	0.002	< 0,001	0.002	< 0,001	< 0,001	0.002

	Unité de mesure	acide butanoïque	n-octane	aldéhyde 3-furfurilique	aldéhyde 2-furfurilique	acide 2-méthyl butanoïque	éthyl benzène	m- + p-xylène
Blanc transport	µg	0.003	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0.002	0.004
Blanc frigo	µg	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

	Unité de mesure	acide pentanoïque	styrène	o-xylène	n-nonane	cyclo hexanone	phénol	acide hexanoïque
Blanc transport	µg	0.001	0.001	0.001	< 0,001	< 0,001	0.009	0.015
Blanc frigo	µg	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0.006	< 0,001

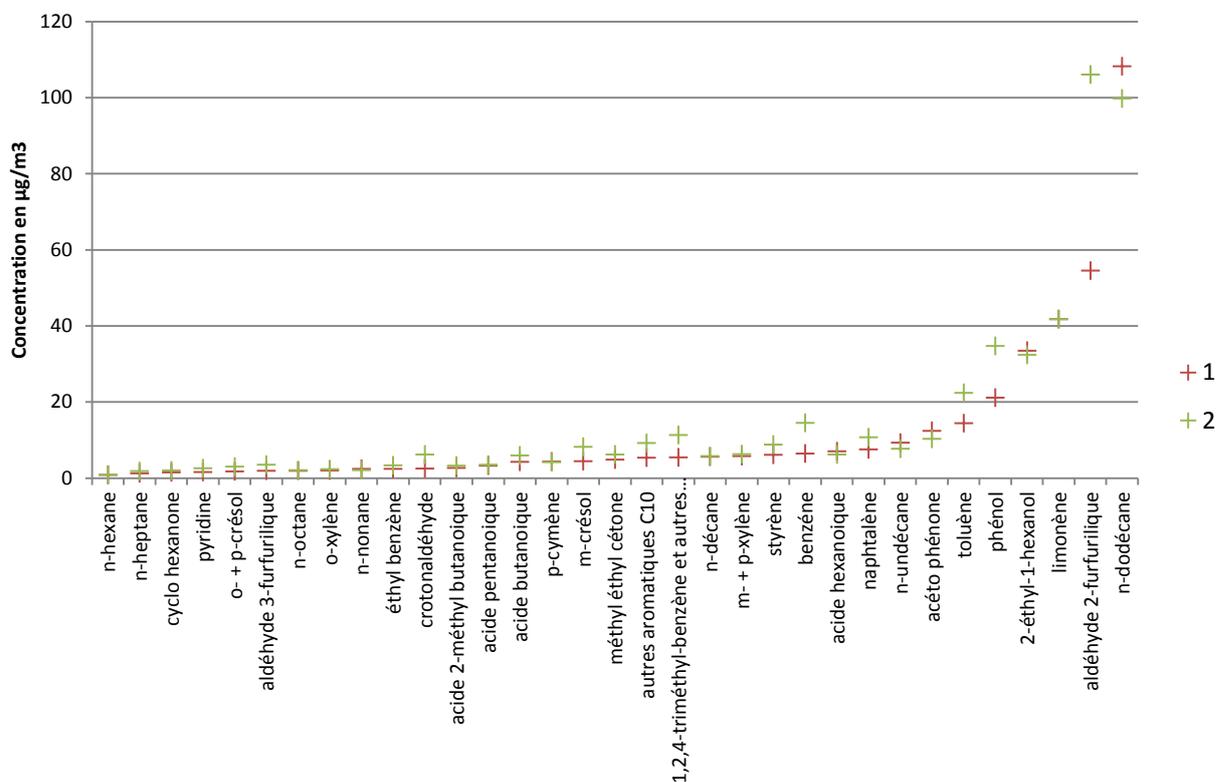
	Unité de mesure	n-décane	1,2,4-triméthyl-benzène et autres aromatiques C ₉	acéto phénone	2-éthyl-1-hexanol	limonène	o- + p- crésol	m-crésol
Blanc transport	µg	0.013	0.010	0.032	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Blanc frigo	µg	0.011	< 0,001	0.012	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

	Unité de mesure	n-undécane	p-cymène	autres aromatiques C ₁₀	n-dodécane	naphtalène
Blanc transport	µg	0.011	< 0,001	< 0,001	0.310	0.001
Blanc frigo	µg	0.012	< 0,001	< 0,001	0.237	< 0,001

Tableau 4: résultats des tubes passifs blancs

Les résultats des blancs sont très faibles voire inférieurs au seuil de détection : les résultats provenant de nos échantillons sont donc de bonne qualité et n'ont pas subi de contamination. Le n-dodécane est le composé pour lequel les concentrations sont maximums avec une masse de 0.310µg pour le blanc transport et une masse de 0.237 µg pour le blanc frigo.

b. Résultats



Les deux sites de mesures présentent des résultats similaires pour les composés mesurés, avec les concentrations les plus élevées pour le n-dodécane, l'aldéhyde 2-furfurilique, le limonène, le phénol, le 2-ethyl-1-hexanol, le toluène, l'acétophénone et le naphthalène. A l'exception de l'aldéhyde 2-furfurilique pour lequel l'écart de concentration entre les deux emplacements est de $52\mu\text{g}/\text{m}^3$, les concentrations sont proches malgré la distance des deux emplacements. En conséquence, il y aurait une homogénéité de la composition en COV de la fumée à proximité des zones en feu.

c. Discussions

Les composés majoritaires recueillis sont annotés dans le tableau ci-dessous, avec leur provenance probable.

Composés	Groupes	Origines
n-dodécane	Alcane	Produit issu de la pyrolyse
aldéhyde 2-furfurilique	Composé hétérocyclique	Produit issu de la pyrolyse, et notamment de la décomposition des hydrocarbures mono aromatique
limonène	Mono terpène	Emission du COV présent dans le végétal dans la zone de préchauffage.
phénol	Composé phénolique	Produit issu de la pyrolyse
2-éthyl-1-hexanol	Alcool	Produit issu de la pyrolyse
Toluène	Composé à un cycle	Produit issu de la pyrolyse
acétophénone	Composé phénolique	Produit issu de la pyrolyse
naphthalène	Composé à deux cycles	Produit issu de la pyrolyse

Tableau 5 : COV majoritaires mesurés

Il existe dans la littérature, pour certain de ces composés, des valeurs de références au-delà desquelles il y aura un impact pour la santé des individus. En France, afin de protéger les travailleurs, des Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle⁵ ont été publiées par le Ministère chargé du travail (INRS, 2012). Ces valeurs représentent les concentrations dans l'air que peut respirer une personne pendant un temps déterminé sans risque d'altération pour sa santé. Les valeurs limites sont des objectifs minimaux à atteindre :

- La VLCT : Valeur Limite Court Terme qui permet de protéger des effets des pics d'exposition. Sa durée de référence est de 15 minutes.
- La VME : Valeur Moyenne d'Exposition qui est destinée à protéger les travailleurs des effets à moyen terme, mesurées ou estimées sur la durée d'un poste de travail de 8h. La VME peut être dépassée sur une courte période sous réserve de ne pas dépasser la VLCT.

⁵ VLEP

Dans le Tableau 6 sont indiquées les VLCT et VME des composés présents en forte concentration lors des feux aux Pripris de Yiyi. Dans les cas où aucune valeur n'existe dans la législation française, des références étrangères sont précisées quand elles existent (Allemagne et Etats-Unis par exemple).

Les mesures effectuées aux Pripris correspondant à un temps d'exposition à l'atmosphère ambiante d'environ 4 heures, les comparaisons à des valeurs réglementaires correspondant à des expositions de 8 heures et 15 minutes ne sont effectuées qu'à titre indicatif. La mesure par tube passif ne donnant qu'une concentration moyenne dans le temps, il n'est pas possible de déterminer l'existence de pics de concentrations en COV, pouvant par exemple amener au déplacement de la VLCT.

	Pays/établissement ayant établi la VME	VME en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Pays/établissement ayant établi la VLCT	VLCT en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Valeur maximale relevée à la maison de la nature en $\mu\text{g}/\text{m}^3$
n-dodécane	-	-	-	-	108
aldéhyde 2-furfurilique	Etat Unis (ACGIH) (TLV-TWA 1978) (INRS, 2010)	7 900	France (circulaire 1982)	8 000	106
limonène	Allemagne (commission DFG) Valeur MAK (INRS, 2010)	110 000	-	-	42
phénol	France (VLEP contraignante)	7 800	France (VLEP contraignante)	15 600	35
2-éthyl-1-hexanol	-	-	-	-	33
Toluène	France (VLEP réglementaire contraignante -2012)	76 800	France (VLEP réglementaire contraignante -2012)	384 000	22
acétophénone	-	-	-	-	12
naphthalène	France (VLEP indicative – circulaire)	50 000	Etat Unis (ACGIH)	≈78 500	11

Tableau 6 : comparaison des concentrations en COV aux VLEP

Les résultats obtenus lors du feu de savane sont inférieurs aux VME et VLCT⁶. De très nombreux polluants, dont ces COV, sont présents dans les fumées générées par un feu de biomasse et ont un effet négatif sur l'organisme. Il existe une formule de sommation des concentrations individuelles des agents chimiques rapportées aux VME. Ce calcul, dont le résultat doit être strictement inférieur à 1,0 permet de connaître l'effet cumulé de plusieurs polluants sur la santé humaine. La formule correspondante est notée ci-dessous :

$$C1/VI1 + C2/VI2 + \dots + Cn/VI_n < 1$$

C correspond à la concentration de l'agent chimique
VI correspond à la VME de l'agent chimique

Soit dans notre cas :

$$[\text{aldéhyde 2-furfurilique}]/\text{VME aldéhyde 2-furfurilique} + [\text{phénol}]/\text{VME phénol} + [\text{Toluène}]/\text{VME Toluène} + [\text{naphthalène}]/\text{VME naphthalène}$$

L'additivité pour les composés dont nous disposons des données est de 0,018 ce qui est inférieure à la valeur limite de 1,0. Cependant, les fumées comportant de nombreux éléments chimiques non mesurés lors de l'étude, et certains COV identifiés ne disposant pas de VME (n-dodécane, limonène, 2-éthyl-1-hexanol, acétophénone), le coefficient calculé ci-dessus est sous-estimé.

⁶ Pour les composés dont les données réglementaires sont disponibles

Au final, les concentrations en COV sont inférieures aux valeurs publiées par le Ministère du travail et ne présentent pas de danger immédiat pour la santé humaine. La topographie⁷ du site étant favorable à la dispersion de la pollution, les COV se sont dilués dans l'atmosphère et ont, en raison des conditions d'ensoleillement, disparu par l'intermédiaire de plusieurs réactions photochimiques, entraînant la formation d'ozone.

3. Particules

a. Résultats

Les données obtenues avec le granulomètre sont présentées dans le Tableau 7 et sur la Figure 7. Cet appareil permettant de mesurer plusieurs tailles de particules, nous avons sélectionné les données correspondantes aux particules de moins de 2.5 et 10 micromètres de diamètre aérodynamique, appelées respectivement particules fines⁸ et particules en suspension⁹.

Heure	PM2.5 (µg/m3)	PM10 (µg/m3)
09:24:40	9	45
09:34:50	9	41
09:45:00	9	42
09:55:10	32	66
10:05:20	90	136
10:15:30	144	186
10:25:40	120	161
10:35:50	103	142
10:46:00	141	183
10:56:10	105	145
11:06:20	31	57
12:07:20	10	21
12:17:30	7	19
12:27:40	20	31
12:37:50	15	29
12:48:00	19	38
12:58:10	12	26

Tableau 7 : résultats des mesures de particules

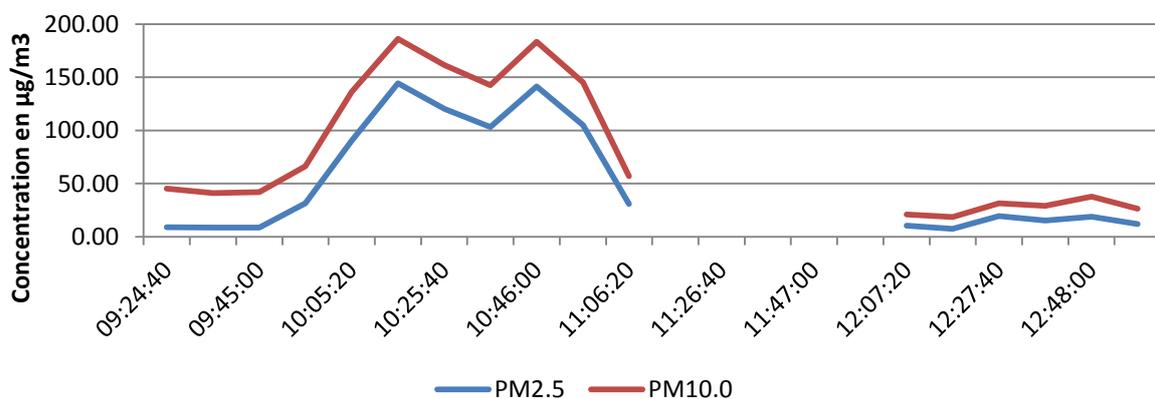


Figure 7 : concentration en particules lors des feux de savane

⁷ Site plat, sous l'influence des Alizées

⁸ PM2.5

⁹ PM10

Les premières mesures correspondent au bruit de fond en particules présent sur le site de mesures. Un peu après la première mise à feu, les concentrations des PM2.5 et PM10 augmentent rapidement jusqu'à atteindre leur première valeur haute respectivement à 144 et 186 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, correspondant au passage du nuage de combustion à l'emplacement de notre appareil. Les concentrations diminuent légèrement autour de 10h20, en raison de la baisse de l'intensité du feu de la parcelle numéro 1. Ensuite, la mise à feu de la parcelle numéro 2 a entraîné un nouveau pic de concentration, conduisant les PM2.5 à 141 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et les PM10 à 183 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Après ces pics, la combustion des parcelles arrivant à leur terme et la topographie étant favorable à la dispersion de la pollution, les fumées contenant les polluants se sont diluées dans l'atmosphère, entraînant un retour à des concentrations proches du bruit de fond habituel. Les données entre 11h06 et 12h07 ont été invalidées pour des raisons techniques.

IV. Discussions

Les particules sont des polluants complexes, dont l'impact sur la santé dépend des deux paramètres suivants (Ministère de l'écologie, du développement et de l'aménagement durables, 2007) :

- Leur granulométrie : plus une particule est fine, plus elle pénétrera profondément dans l'appareil respiratoire, jusqu'à atteindre les alvéoles pulmonaires.
- Leur composition chimique : les particules peuvent contenir des produits toxiques tels que les métaux lourds ou les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques¹⁰, dont certains sont cancérogènes pour l'homme.

L'Organisation Mondiale de la Santé¹¹ a mis en évidence leur impact significatif sur la santé même à de très faible dose, principalement pour des expositions à long terme. Celles qui sont émises lors de combustion sont connues comme étant particulièrement dangereuses, notamment en raison de leur composition comprenant des HAP et du « black carbon ».

L'OMS publie des lignes directrices au-delà desquelles, sur la base des résultats scientifiques actuels, il y a une augmentation de la mortalité due à la pollution de l'air. Pour les particules, la valeur de la concentration journalière limite des PM2.5 est de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM10 (OMS, 2005).

Données statistiques	PM2.5	PM10.0
Nombre de valeurs	17	17
Minimum	7	19
1er quartile	10	30
Médiane	20	45
Moyenne	52	81
3eme quartile	104	144
Maximum	144	186
Ecart type	52	62

Tableau 8 : données statistiques des résultats pour les particules

¹⁰ HAP

¹¹ OMS

Lors de la mise à feu des parcelles aux Pripris de Yiyi, les concentrations en particules augmentent rapidement atteignant des concentrations importantes, avec un maximum de $186 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et une moyenne de $81 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM10 et un maximum de $144 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et une moyenne de $52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM2.5.

Nos résultats ne correspondant qu'à 4 heures 24 minutes de mesures, la comparaison aux références de l'OMS n'est présentée ici qu'à titre indicatif. Pour les PM2.5, la moyenne relevée lors de la mise à feu des deux parcelles est deux fois supérieures à la ligne directrice de l'OMS, et celle pour les PM10 est aussi dépassée.

Ces résultats montrent que l'impact sur la santé d'un feu de savane Guyanais est non négligeable en raison de la présence de particules et plus particulièrement des PM2.5.

Conclusion

Les mesures ont permis de mettre en avant la prédominance de 8 COV sur les 33 recherchés lors de la mise à feu des Pripris de Yiyi. Les concentrations relevées ne dépassent pas les valeurs limites d'exposition professionnelle¹², impliquant un effet limité sur la santé des personnes exposées à ces éléments chimiques.

Cependant, les résultats pour les particules fines et en suspension sont élevés, avec des concentrations maximales respectives à $144\mu\text{g}/\text{m}^3$ et $186\mu\text{g}/\text{m}^3$ et des moyennes de $51\mu\text{g}/\text{m}^3$ et $81\mu\text{g}/\text{m}^3$ durant la campagne de mesures. En conséquence, l'impact sur la santé d'un feu de savane en Guyane est avéré en raison de la présence de ces particules, et plus particulièrement des particules fines. Ces dernières pénètrent profondément dans l'appareil respiratoire tout en comprenant des composés chimiques cancérigènes comme les HAP, qui peuvent une fois dans les poumons se transférer dans le sang de la personne ayant inhalé l'air pollué.

Les zones où les feux de végétations se répètent peuvent avoir un impact sur les personnes y habitant, dont notamment les plus sensibles à la pollution atmosphérique (Annexe : définition des personnes sensibles). En Guyane, du fait de la particularité de l'habitat qui est dispersé et parfois non contrôlé, ainsi que du nombre important de feux relevés par les autorités, il peut y avoir en saison sèche certaines zones habitées impactées par des taux de particules importants.

Pour les prochaines campagnes du plan feu, afin d'améliorer les mesures et de mieux préciser dans le temps les concentrations en COV, il serait pertinent d'effectuer des prélèvements actifs plutôt que passifs. En outre, cette méthode permettant de prélever sur des durées plus courtes, le temps de prélèvement sera diminué et le travail des techniciens de l'ORA facilité. Cela permettra de confirmer ou d'infirmer les premières mesures effectuées, et de continuer la mise en place d'une base de données feu.

Il faudra continuer les mesures de particules, qui semblent être les composants les plus impactant pour la santé humaine lors des feux de broussailles en Guyane. Le dispositif mis en place pourra être complété par un second granulomètre. Il pourra être envisagé, en fonction des moyens mis en place, d'utiliser un préleveur haut débit pour faire la caractérisation chimique des particules.

¹² Comparaison à titre indicative en raison des temps d'exposition différent entre les valeurs mesurés et celles de la littérature.

Bibliographie

- BEGHI, S. (2007). *Développement de méthodes pour l'analyse des Composés Organiques Volatils et/ou odorants en milieu difficile*. Alès: Mines-Alès.
- CEREN. (2012). *Prélèvements d'effluents gazeux sur écobuages dans le cadre du projet ALPFFIRS*. Gardanne: CEREN.
- Happo, M., Hirvonen, M., Halinen, A., Jalava, P., Pennanen, A., Sillanpaa, M., et al. (2008). Chemical compositions responsible for inflammation and tissue damage in the mouse lung by coarse and fine particulate samples from contrasting air pollution in Europe. *Inhal Toxicol*, pp. 1250-1231.
- Huang, S., Hsu, M., & Chan, C. (2003). Effects of submicrometer particle compositions on cytokine production and lipid peroxidation of human bronchial epithelial cells. *Environ Health Perspect*, pp. 478-482.
- INERIS. (2006). *Benzène*. INERIS.
- INRS. (2010). *Fiche toxicologique 2-furaldéhyde*. Paris: INRS.
- INRS. (2010). *Fiche toxicologique dipentène ou d,l-Limonène*. Paris: INRS.
- INRS. (2012). *Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France*. Paris: INRS.
- LEROY, V. (2007). *Contribution à la modélisation des feux de forêt ; cinétique de dégradation thermique et cinétique de combustion des végétaux*. CNRS.
- 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.
- 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.
- Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie. (2012, 12 13). *Assises nationales Qualité de l'air*. Consulté le 04 2013, 25, sur Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie: <http://www.developpement-durable.gouv.fr/L-impact-des-particules-fines-sur.html>
- Ministère de l'écologie, du développement et de l'aménagement durables. (2007). *Circulaire relative à l'information au public sur les particules en suspension dans l'air ambiant*. Paris: Ministère de l'écologie, du développement et de l'aménagement durables.
- OMS. (2005). *Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air : particules, ozone, dioxyde d'azote et dioxyde de soufre*. Genève: WHO.
- Pope, C., & Dockery, D. (2006). Health effects of fine particulate air pollution : lines that connect. *J Air Waste Manag Assoc*, pp. 709-742.
- Radiello. (2007, Mars 16). *Composés organiques volatiles (COV) désorbés par CS2*. Consulté le Février 20, 2012, sur Radiello: http://www.radiello.com/francais/cov_chim_fr.htm
- World Health Organization. (2011, 09). *Air quality and health*. Consulté le 04 17, 2013, sur WHO air quality and health.

Table des illustrations

<i>Tableau 1 : données météorologiques permettant une efficacité optimale de la méthode Radiello.....</i>	<i>7</i>
<i>Tableau 2 : caractéristiques des prélèvements par tubes passifs.....</i>	<i>9</i>
<i>Tableau 3 : conditions météorologiques lors de la campagne de mesures.....</i>	<i>10</i>
<i>Tableau 4: résultats des tubes passifs blancs.....</i>	<i>12</i>
<i>Tableau 5 : COV majoritaires mesurés.....</i>	<i>13</i>
<i>Tableau 6 : comparaison des concentrations en COV aux VLEP.....</i>	<i>14</i>
<i>Tableau 7 : résultats des mesures de particules.....</i>	<i>15</i>
<i>Tableau 8 : données statistiques des résultats pour les particules.....</i>	<i>16</i>
<i>Figure 1 : Echantillonneur passif.....</i>	<i>6</i>
<i>Figure 2 : schéma de l'échantillonneur passif.....</i>	<i>7</i>
<i>Figure 3 : compteur de particule Handheld 3016 IAQ.....</i>	<i>8</i>
<i>Figure 4 : station Vantage Pro 2 installée à l'école Minidoque, Matoury.....</i>	<i>8</i>
<i>Figure 5 : dispositif mis en place.....</i>	<i>10</i>
<i>Figure 6 : rose des vents lors de la campagne de mesures.....</i>	<i>11</i>
<i>Figure 7 : concentration en particules lors des feux de savane.....</i>	<i>15</i>

Annexe : définition des personnes sensibles

Les personnes considérées comme sensibles sont :

- femmes enceintes,
- nourrissons et enfants de moins de 5 ans,
- personnes de plus de 65 ans,
- sujets asthmatiques, souffrant de pathologies cardiovasculaires, insuffisants cardiaques ou respiratoires.
- personnes se reconnaissant comme sensibles lors des pics de pollution et/ou dont les symptômes apparaissent ou sont amplifiés lors des pics ; par exemple : personnes diabétiques, immunodéprimées, souffrant d'affections neurologiques ou à risque cardiaque, respiratoire, infectieux.