



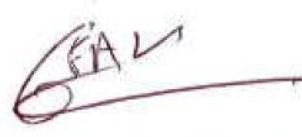
Evaluation des sources de HAP particulières : Application d'un modèle PMF en combinant des données aethalomètre (Black Carbon) et HAP

Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l’Air

EVALUATION DES SOURCES DE HAP PARTICULAIRES : COMBINAISON DU MODELE AETHALOMETRE (BLACK CARBON) ET DES DONNEES HAP DANS UN MODELE SOURCE-RECEPTEUR PMF

NGO Sylvie, ALBINET Alexandre (INERIS)

Janvier 2017

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	Sylvie NGO Alexandre ALBINET	Olivier FAVEZ	Marc DURIF
Qualité	Ingénieurs de l’Unité CIME Direction des Risques Chroniques	Ingénieur de l’Unité CIME Direction des Risques Chroniques	Responsable du Pôle CARA Direction des Risques Chroniques
Visa			



LE LABORATOIRE CENTRAL DE SURVEILLANCE DE LA QUALITE DE L'AIR

Le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air est constitué des laboratoires de Mines Douai, de l'INERIS et du LNE. Il mène depuis 1991 des études et des recherches à la demande du Ministère chargé de l'environnement, et en concertation avec les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA). Ces travaux en matière de pollution atmosphérique ont été financés par la Direction Générale de l'Énergie et du Climat (bureau de la qualité de l'air) du Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer (MEEM). Ils sont réalisés avec le souci constant d'améliorer le dispositif de surveillance de la qualité de l'air en France en apportant un appui scientifique et technique au MEEM et aux AASQA.

L'objectif principal du LCSQA est de participer à l'amélioration de la qualité des mesures effectuées dans l'air ambiant, depuis le prélèvement des échantillons jusqu'au traitement des données issues des mesures. Cette action est menée dans le cadre des réglementations nationales et européennes mais aussi dans un cadre plus prospectif destiné à fournir aux AASQA de nouveaux outils permettant d'anticiper les évolutions futures.

TABLE DES MATIERES

RESUME	6
REMERCIEMENTS ET COLLABORATIONS.....	7
1. INTRODUCTION / OBJECTIFS	8
2. MATERIELS ET METHODES	10
2.1 Mesures et prélèvements	10
2.2 Analyses.....	10
2.3 Traitement des données	11
2.3.1 PMF « simplifiée » : données HAP vs données AE33	13
2.3.1.1 Talence	13
2.3.1.2 SIRT.....	14
2.3.2 PMF « étendu » : caractérisation chimique étendue des PM.....	15
3. RESULTATS	16
3.1 PMF « simplifié » : données HAP vs données AE33	16
3.1.1 Talence	16
3.1.2 SIRT.....	19
3.2 Modèle PMF « étendu ».....	22
4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	27
5. REFERENCES	29
6. GLOSSAIRE.....	33

RESUME

L'apport du couplage du modèle aethalomètre (mesure du black carbon, BC) avec les données de mesures des HAP particulières au sein d'un modèle source -récepteur du type PMF (Positive Matrix Factorization) afin de distinguer et quantifier les sources des HAP particulières a été évalué.

Deux sites d'études ont été investigués comprenant un site de fond urbain, Talence, et un site de fond régional, SIRTa (25 km au sud -ouest de Paris). Les mesures de BC, HAP et PM₁₀ ont été réalisées sur une année sur ces deux sites. En complément, une caractérisation étendue de la composition chimique des PM₁₀ a été réalisée sur le site du SIRTa. L'analyse PMF a été réalisée de façon simplifiée avec seuls BC, HAP et PM₁₀ comme données d'entrée sur les deux sites, et sur le jeu étendu de données chimique des PM du SIRTa (PMF « étendu ») en complément et comme point de comparaison de l'approche PMF « simplifiée ».

Le modèle « simplifié » permet de distinguer 3 facteurs correspondant à 3 sources de HAP particulières. La combustion de biomasse apparaît comme source majoritaire, représentant environ 85%, sur chacun de deux sites étudiés. La contribution de la source « combustion d'hydrocarbures » (trafic préférentiellement) est assez limitée notamment dans le cas du site de Talence, site très fortement impacté par la combustion de biomasse. Le modèle PMF « étendu » appliqué au SIRTa, met en avant 5 sources de HAP en lien avec les sources de PM : combustion de biomasse (50%), les poussières et remise en suspension (23%), le nitrate enrichi (15%), sels marins anthropisés (7%) et combustion d'hydrocarbures (3%). La source majoritaire de HAP au SIRTa est dans ce cas la combustion de biomasse mais avec une contribution de 50%. Une part significative des HAP particulières semble transportée ou associée à des sources d'influence à échelle régionale avec les sources « nitrate enrichi » (probablement lié au trafic « éloigné ») et « sel marin anthropisé ». Le modèle « simplifié » ne permet donc qu'une détermination qualitative des sources des HAP. Son utilisation ne considérant que 3 facteurs, ne permet pas de visualiser la contribution des sources autres que la combustion de biomasse et la combustion d'hydrocarbures et donc de retranscrire une influence plus régionale des sources de HAP et leur transport.

REMERCIEMENTS ET COLLABORATIONS

Ce travail a été réalisé en collaboration avec AirAq (maintenant Atmo Nouvelle Aquitaine), en particulier avec P.-Y. Guernion. De plus, une partie des données utilisées dans le cadre de ces travaux fait partie intégrante du travail de thèse de Deepchandra Srivastava (OOSOA : On-line, Off-line Secondary Organic Aerosol) INERIS/EPOC-Université Bordeaux (2014-2017) en collaboration également avec le LSCE (N. Bonnaire, V. Gros) et IMT Lille Douai (L. Alleman) pour la caractérisation chimique des échantillons de filtres au SIRTa.

1. INTRODUCTION / OBJECTIFS

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont émis lors des processus de combustion incomplète de la matière organique (Ravindra et al., 2008). Ils sont largement étudiés en raison de leurs propriétés toxiques reconnues et sont à ce titre réglementés. Ainsi, leur surveillance dans l'air ambiant et dans les dépôts atmosphériques est obligatoire en Europe et donc en France selon la Directive Européenne 2004/107/CE (European Official Journal, 2005), complétée par la Directive 2015/1480/CE (European Official Journal, 2015). Une valeur cible de 1 ng m^{-3} en moyenne annuelle dans la fraction particulaire PM_{10} (particules ayant un diamètre aérodynamique inférieur à $10 \text{ }\mu\text{m}$) a été définie pour le benzo[a]pyrène (B[a]P : HAP choisi comme représentatif du mélange des HAP).

Au-delà de la problématique des niveaux de concentrations atmosphériques des HAP et de la situation vis-à-vis des seuils d'évaluation minimal et maximal (définis comme 40 et 60 % de la valeur cible pour le B[a]P) impliquant la mise en œuvre ou non de la mesure continue pour la surveillance des HAP, la problématique majeure consiste en l'évaluation des sources des HAP induisant les concentrations observées et l'exposition des populations. Les sources de ces composés sont nombreuses et comprennent :

- Les émissions naturelles, qui restent minoritaires car se produisent peu fréquemment. Ce sont par exemple les feux de forêts ou encore les éruptions volcaniques. Ces émissions se produisent à l'échelle mondiale.
- Les émissions anthropiques qui sont les sources majoritaires. Elles regroupent les sources industrielles et agricoles, les sources domestiques (comme le chauffage résidentiel au bois ou au fioul), les sources mobiles (comme le transport routier, maritime ou aérien) mais aussi les activités culinaires.

En cas de dépassements de la valeur cible, le rapportage des données de surveillance à l'Europe doit s'accompagner d'une estimation de la contribution des principales sources à l'origine des concentrations mesurées, permettant la mise en place de plans d'actions adaptés. Historiquement, l'estimation des sources des HAP était basée sur l'utilisation de ratio de concentrations inter-HAP. Toutefois, de nombreuses études récentes ont mis en doute ce type d'approche étant donné la variabilité des sources, le partage entre la phase gazeuse et particulaire, et la réactivité de ces composés. De façon alternative, des outils statistiques de type modèles récepteurs tels que, le Chemical Mass Balance (CMB) ou la Positive Matrix Factorisation (PMF) peuvent être utilisés pour l'estimation de la contribution des sources de HAP aux concentrations mesurées dans l'air ambiant. En 2013, une première étude de mise en œuvre d'un modèle récepteur PMF pour l'estimation des sources de HAP dans l'air ambiant a été conduite par le LCSQA (Balbiani et Albinet, 2013). L'étude réalisée en utilisant les données issues de la surveillance réglementaire des HAP en France a permis de montrer les points forts d'une telle approche et notamment la différenciation possible des sources de HAP en se basant sur les concentrations de ces composés mesurés en phase gazeuse et particulaire. Néanmoins, l'étude avait aussi montré les points faibles avec, entre autres, une difficulté inhérente à la distinction des sources de HAP avec un haut degré de confiance en lien

avec le nombre de HAP mesurés (HAP uniquement réglementaires) et la qualité des données disponibles.

Ainsi, afin d'améliorer les résultats, une nouvelle méthodologie d'estimation des sources des HAP a été testée lors de ce travail. Celle-ci est basée sur la combinaison des mesures du black carbon (BC) réalisées par aethalomètre avec les mesures des HAP particulaires. A priori, les sources de HAP et de BC sont à priori similaires car le BC dérive des HAP (notamment du pyrène) formé lors des processus de combustion (Mansurov et al, 2005). De plus, le modèle aethalomètre permet de faire la distinction des principales sources de PM, i.e., la combustion des hydrocarbures (PM_{ff}) et la combustion de biomasse (PM_{wb}) (Sandrewi et al., 2008, Favez et al., 2016). Une première étude, réalisée par AIRAQ sur le site urbain CARA de Talence, a permis de mettre en évidence la possibilité d'évaluer les sources de HAP particulaires en combinant les résultats du modèle aethalomètre et des mesures HAP via un modèle de régression linéaire multiple (Guernion, 2014). Cette étude était toutefois limitée à un nombre restreint d'échantillons quantifiés pour leur contenu en HAP (50 échantillons).

L'objectif du présent travail est donc d'évaluer la pertinence de la détermination des sources d'émissions des HAP particulaires dans l'air en appliquant une approche statistique modèle récepteur tel que la PMF sur une combinaison de données HAP analysés sur filtres et de données BC issues du modèle aethalomètre plus nombreuses (120-150 échantillons). Ce couplage modèle PMF/modèle aethalomètre apporte donc comme élément d'entrée au modèle PMF une information supplémentaire sur les sources d'émissions de l'aérosol.

Les travaux présentés ici sont focalisés uniquement sur les HAP associés majoritairement à la phase particulaire et plus particulièrement les 7 composés indiqués dans la Directive 2004/107/CE ainsi que le benzo[ghi]pérylène (B[ghi]P) (HAP à priori plus spécifique de la source « Trafic »). L'approche proposée a été appliquée sur le même jeu de données que celui déjà étudié par AIRAQ à Talence (année 2013) en le complétant par des analyses supplémentaires sur ce même site et sur le site péri-urbain du SIRTa (25 km au sud-ouest de Paris), représentatif de la pollution de fond en Ile de France (année 2015). Pour ce dernier site, une caractérisation chimique très étendue est disponible dans le cadre d'un travail de thèse de doctorat financé par l'INERIS. A l'aide de ce jeu de données, une comparaison des résultats du couplage des méthodes PMF/aethalomètre sur une base de données restreinte (HAP, BC et PM) et étendue (caractérisation chimique des PM, HAP, BC et PM) a pu être réalisée afin d'évaluer la robustesse de la première approche (« PMF simplifiée »).

2. MATERIELS ET METHODES

2.1 Mesures et prélèvements

Les prélèvements journaliers de HAP ont été réalisés selon les normes en vigueur (NF EN 15549, CEN XP/TS 16645). La fraction PM₁₀ des particules a été collectée sur filtre quartz (Pallflex) au moyen de préleveurs haut volume (Digitel DA-80, 30 m³ h⁻¹). Sur le site de Talence (site urbain de fond) les prélèvements ont été réalisés sur toute l'année 2013 dans le cadre du programme CARA. Seule une partie des filtres collectés a été analysée pour la détermination des concentrations en HAP (environ 1 filtre sur 2). Sur le site du SIRTa (site de fond régional Ile de France), les prélèvements ont été réalisés à raison de 1 jour sur 3 sur toute l'année 2015.

En parallèle des prélèvements HAP, les mesures des PM₁₀ ont été réalisées par méthode automatique (TEOM-FDMS) selon la spécification technique XP CEN/TS 16450 (AFNOR, Juillet 2013) équivalente à la méthode normalisée NF EN 12341 (AFNOR, Juin 2014). Les mesures de BC ont été réalisées par aethalomètre multi-longueurs d'onde de type AE33. Les données ont été validées selon la procédure établie lors du GT « Caractérisation chimique et étude de sources des particules » (<http://www.lcsqa.org/commissions-suivi-groupes-travail/gt-caracterisation-chimique-etudes-sources-particules>).

2.2 Analyses

Pour les échantillons de Talence, une partie des analyses de HAP a été réalisée dans le cadre du suivi réglementaire des HAP d'AIRAQ. Les analyses complémentaires ont été réalisées par l'INERIS. Dans les deux cas, les analyses ont été réalisées selon les normes et procédures en vigueur (NF EN 15549, CEN XP/TS 16645). Au final, des données sont disponibles à raison d'environ 1 jour sur 2 pour toute l'année 2013 (183 échantillons analysés). Pour chaque échantillon, les analyses ont concerné le benzo[ghi]pérylène (B[ghi]P) et les 7 HAP de la Directive 2004/107/CE : (benzo[a]pyrène (B[a]P) ; benzo[a]anthracène (B[a]A) ; benzo[b]Fluoranthène (B[b]F), benzo[k]Fluoranthène (B[k]F) ; benzo[j]Fluoranthène (B[j]F) ; indéno[1,2,3-c,d]pyrène (Ind) plus.

Les concentrations de ces mêmes HAP ont été déterminées sur une série de filtres journaliers prélevés environ 1 jour sur 3 (représentant 114 échantillons) au SIRTa au cours de l'année 2015. Pour ce site, la liste des espèces chimiques analysées est bien plus large, correspondant à un jeu de données obtenu dans le cadre de la thèse de D. Srivastava (INERIS/EPOC-Université Bordeaux, 2014-2017). L'ensemble de ces espèces, ainsi que les méthodes utilisées pour leur quantification et les laboratoires qui les ont mises en œuvre, sont listées dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Caractérisation chimique étendue des PM₁₀ pour les échantillons du SIRTa : méthodes d'analyse

Espèces	Méthode d'analyse	Laboratoire (Référence)
EC/OC	Méthode thermo-optique	LSCE (EUSAAR2, (Cavalli et al., 2010))
Anions/Cations, MSA, Oxalate	Chromatographie ionique	LSCE (Sciare et al., 2005)
Lévoglucosan, Polyols	LC-PAD	LSCE (Yttri et al., 2015, Verlhac. S et al., 2013)
HAP	UPLC-UV/Fluo	INERIS (NF EN 15549, CEN XP/TS 16645)
Métaux et éléments	ICP-MS	IMT Lille Douai (Alleman et al., 2010)

2.3 Traitement des données

La détermination des sources de HAP particulières s'est fait à l'aide du modèle PMF (version 5.0 du logiciel PMF US-EPA) en combinaison du modèle aethalomètre.

L'aethalomètre permet la détermination des concentrations de black carbon (BC) présent en suspension dans l'air à l'aide de mesures optiques. L'atténuation de la lumière lorsqu'elle passe à travers ces particules carbonées est mesurée par l'instrument. A chaque « type » de carbone correspond une variation de l'atténuation de la lumière. Le modèle aethalomètre permet une déconvolution et une quantification des sources primaires de combustion (Sandradewi et al, 2008 ; Favez et Amodeo, 2016). Ainsi, l'aethalomètre multi-longueur d'ondes AE33 permet de distinguer deux fractions du BC que l'on peut relier à la combustion d'hydrocarbures (BC_{ff}) et à la combustion de biomasse (BC_{wb}). Ces fractions peuvent ensuite être utilisées pour estimer (à l'aide d'un facteur multiplicatif et avec une précision de l'ordre de ± 50%) les concentrations de PM₁₀ attribuables aux deux familles de sources (notées respectivement PM_{ff} et PM_{wb}), tel que :

$$PM_{ff} = a \times BC_{ff}$$

$$PM_{wb} = b \times BC_{wb}$$

où PM_{ff} et PM_{wb} représentent la concentration massique de particules PM₁₀ issues respectivement de la combustion d'hydrocarbures et de la combustion de biomasse. Outre le BC, PM_{ff} et PM_{wb} sont constituées principalement d'aérosols organiques primaires. Les coefficients a et b sont issus (i) de la littérature scientifique pour la contribution fossile, et (ii) d'études LCSQA précédentes pour la contribution biomasse (Favez et al, 2015).

Pour Talence, les facteurs a et b retenus étaient de 14,2 et 2,5 (Favez et al, 2015) respectivement. Pour le SIRTA, étant donné que les données lévoglucosan étaient disponibles, ces facteurs ont pu être déterminés et les valeurs étaient égales à 11,8 et 2,5).

La PMF permet de décomposer une matrice de données de mesures de concentrations d'espèces chimiques particulières prélevées dans l'air ambiant afin de déterminer la contribution de leurs sources. Pour cela, le modèle nécessite un grand nombre d'échantillons pour rechercher un nombre de facteurs optimal (correspondant aux sources) et reconstruire les concentrations des espèces chimiques. Il suppose la présence de :

- p sources d'émissions,
- m espèces chimiques émises par ces sources,
- n échantillons prélevés.

Cette détermination est permise par la résolution du système d'équation suivant :

$$X = G \times F + E$$

Avec :

- X la matrice des concentrations, d'éléments $x_{i,j}$ correspondant à la concentration de l'espèce chimique i au temps j .
- G la matrice des contributions, d'élément $g_{i,k}$ correspondant à la contribution de l'espèce chimique i à la source d'émission k .
- F la matrice des profils (ou facteurs), d'élément $f_{k,j}$ correspondant au profil de la source d'émission k au temps j .
- E la matrice des variances, d'élément $e_{i,j}$ qui correspond aux concentrations résiduelles non modélisées correctement de l'espèce chimique i au temps j .

La plausibilité physique des solutions proposées par le modèle est assurée par les 2 contraintes suivantes :

- La non-négativité des matrices de profils et de contributions
- La pondération des mesures prenant en compte le traitement spécifique des données manquantes ou inférieures à la limite de détection ainsi que les incertitudes individuelles des concentrations (éléments de la matrice X).

La méthodologie du modèle est explicitée en détails dans la littérature scientifique (Paatero and Tapper, 1994 ; Paatero, 1997).

Outre les concentrations des espèces chimiques, le modèle a besoin en données d'entrée des incertitudes de mesures associées. Les incertitudes s_{ij} sont déterminées ici en utilisant la formule suivante (Gianini et al, 2012) :

$$s_{ij} = \sqrt{(LD_i)^2 + (CV_i \times x_{ij})^2}$$

Avec :

- LD_i la limite de détection de l'espèce chimique i
- CV_i le coefficient de variation de l'espèce chimique i .

Le modèle PMF laisse également la possibilité d'attribuer un poids statistique faible (« Weak ») ou fort (« Strong ») aux variables d'entrée. En effet, lorsqu'une espèce chimique est considérée comme « Weak », son incertitude fournie est triplée. Dès lors, elle influencera moins le calcul du modèle qu'une espèce catégorisée « Strong ». L'attribution de ce critère a été fait selon le ratio signal/bruit des espèces : si ce ratio est inférieur à 2 alors l'espèce est considérée comme « Weak ».

La pertinence et la qualité de la solution calculée par le modèle PMF peuvent être évaluées par différents résultats statistiques fournis en sortie du modèle. Deux éléments principaux sont retenus à savoir les résultats du « Bootstrap » et la corrélation entre les données des mesures et celles modélisées. Le « Bootstrap » consiste à recalculer les solutions du modèle à partir de la recombinaison de la matrice des concentrations X (en enlevant ou répétant aléatoirement des points de mesure). Dans le cadre de la présente étude, 100 itérations de ce type ont été imposées au modèle et si au moins 80 itérations sur 100 aboutissaient aux mêmes résultats alors la solution était considérée comme stable et donc exploitable. La reconstitution par le modèle des espèces chimiques et de leur évolution temporelle a également été vérifiée avec l'objectif d'obtenir des coefficients de corrélations R^2 les plus proches de 1.

2.3.1 PMF « simplifiée » : données HAP vs données AE33

2.3.1.1 Talence

Sur le site de Talence, les mesures aethalomètre (PM_{ff} et PM_{wb}), les concentrations des HAP et PM_{10} sont les variables d'entrée du modèle PMF « simplifié ». Ce modèle suppose donc que les HAP dans l'air ambiant proviennent essentiellement de la combustion de biomasse ou de combustion d'hydrocarbures. Afin que le modèle puisse converger dans ces conditions et reconstituer la masse totale des PM_{10} , une variable supplémentaire a été calculée et introduite dans le modèle nommée PM_d avec :

$$PM_d = PM_{10} - (PM_{ff} + PM_{wb})$$

Les concentrations en HAP ($ng\ m^{-3}$) sont négligeables par rapport aux PM_{10} ($\mu g\ m^{-3}$) et n'ont pas été considérées dans ce calcul.

Etant donné les limites de ce type d'approche, cette nouvelle variable permet de laisser assez de liberté au modèle PMF afin d'affecter une part des HAP à d'autres sources que les deux indiquées précédemment. Ceci est donc plus en adéquation avec la multiplicité des sources potentielles de ces composés dans l'air ambiant. Ainsi, pour le site de Talence, les données d'entrée du modèle PMF « simplifié » et leur poids statistique sont indiqués dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Espèces chimiques sélectionnées et leur poids statistique pour le modèle PMF « simplifié » pour Talence.

Poids statistique	Espèces chimiques considérées
<i>Strong</i>	B[a]P, B[a]A, BF (somme de B[b]F, B[k]F et B[j]F), B[ghi]P, Ind PM _{wb} , PM _{ff} , PM _d
<i>Weak</i>	PM ₁₀

Il faut noter que les données de PM₁₀ ont été prises en compte en tant que variable totale ce qui explique leur catégorisation automatique en « Weak ».

Le calcul effectué avec ces données d'entrée donnera donc à priori une solution à 3 facteurs correspondant aux sources : « combustion de biomasse », « combustion d'hydrocarbures » et une source « autre » qui est le reflet de la fraction de particules atmosphériques issues des autres processus d'émissions primaires et/ou secondaires.

2.3.1.2 SIRT

De la même manière qu'à Talence, un modèle PMF « simplifié » comprenant les données PM, BC et HAP a été appliqué en premier lieu avec les PM₁₀ comme variable totale.

Tableau 3 : Espèces chimiques sélectionnées et leur poids statistique pour le modèle PMF « simplifié » pour le SIRT.

Poids statistique	Espèces chimiques considérées
<i>Strong</i>	B[a]P, BF, B[ghi]P, Ind PM _{ff} , PM _d
<i>Weak</i>	B[a]A, PM _{wb} , PM ₁₀

2.3.2 PMF « étendu » : caractérisation chimique étendue des PM

En complément et comme point de comparaison de la PMF « simplifié », une analyse PMF a pu être réalisée pour le SIRTA sur un jeu de données étendu incluant certains marqueurs de sources spécifiques (métaux, anions/cations, polyols, levoglucosan) permettant d'identifier un plus grand nombre de sources de particules. Le Tableau 4 synthétise les données d'entrée prises en compte dans le modèle PMF « étendu » pour la solution finale retenue.

Tableau 4 : Espèces chimiques sélectionnées et leurs poids statistiques pour le modèle PMF « étendu » pour les données du SIRTA.

Poids statistique	Espèces chimiques considérées
<i>Strong</i>	OC*, Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , Na ⁺ , NH ₄ ⁺ , MSA Levoglucosan, Polyols As, Pb, Rb, Sr, V, B[a]P, BF, B[ghi]P, Ind BC _{ff}
<i>Weak</i>	Ba, Cd, Co, Cu, La, Mn, Mo, Ni, Sb, Ti, Zn, Al, Ca, Fe, K, Mg B[a]A, BC _{wb} , PM ₁₀

Les PM₁₀ ont été définies comme étant la variable totale du modèle et sont automatiquement catégorisés comme « Weak ».

Les polyols correspondent à la somme de l'arabitol et du manitol.

OC* correspond la concentration d'OC corrigées des concentrations des autres espèces carbonées introduites dans le modèle :

$$OC^* = OC - \text{Lévoglucosan} \times 0,44 - \text{Polyols} \times 0,40 - \text{MSA} \times 0,125 - \text{B[a]P} \times 0,95 - \text{B[a]A} \times 0,95 - \text{BF} \times 0,95 - \text{B[ghi]P} \times 0,96 - \text{Ind} \times 0,96$$

Les facteurs sont déterminés à partir de la masse moléculaire de la molécule considérée et du nombre d'atomes de carbones présent dans celle-ci afin de convertir les données en concentration équivalente carbone comme celles obtenues pour OC à l'analyse.

Afin de trouver la solution la plus représentative de la géochimie des particules dans l'air ambiant, plusieurs essais ont été effectués permettant d'affiner les solutions données par le modèle PMF et de tester leur stabilité. Le nombre de facteurs a varié entre 7 et 10, le nombre d'espèces chimiques pris en compte était compris entre 36 et 39 et des contraintes supplémentaires ont été imposées au modèle afin d'obtenir une solution finale plus correcte d'un point de vue environnemental (Tableau 5).

Tableau 5 : Contraintes testées lors de l'optimisation du modèle PMF « étendu » pour les données du SIRTa.

Contrainte n°	Détails des contraintes
1	Facteur "Combustion de biomasse" : "pull up maximally BC _{wb} " Facteur "Combustion d'hydrocarbures" : "pull up maximally BC _{ff} "
2	Facteur "Poussières et remise en suspension" : "pull down maximally BC _{wb} "

Finalement, la contrainte n°1 est celle qui a été appliquée dans le modèle PMF pour la solution retenue.

3. RESULTATS

3.1 PMF « simplifié » : données HAP vs données AE33

3.1.1 Talence

Les résultats obtenus à l'issue du traitement des données par PMF permettent d'obtenir une solution à 3 facteurs : combustion de biomasse, combustion d'hydrocarbures (trafic) et autre (Figure 1). La solution obtenue paraît très stable avec des bootstraps de 100% pour les facteurs « combustion de biomasse » et « autre » et de 80% pour le facteur « combustion d'hydrocarbures ».

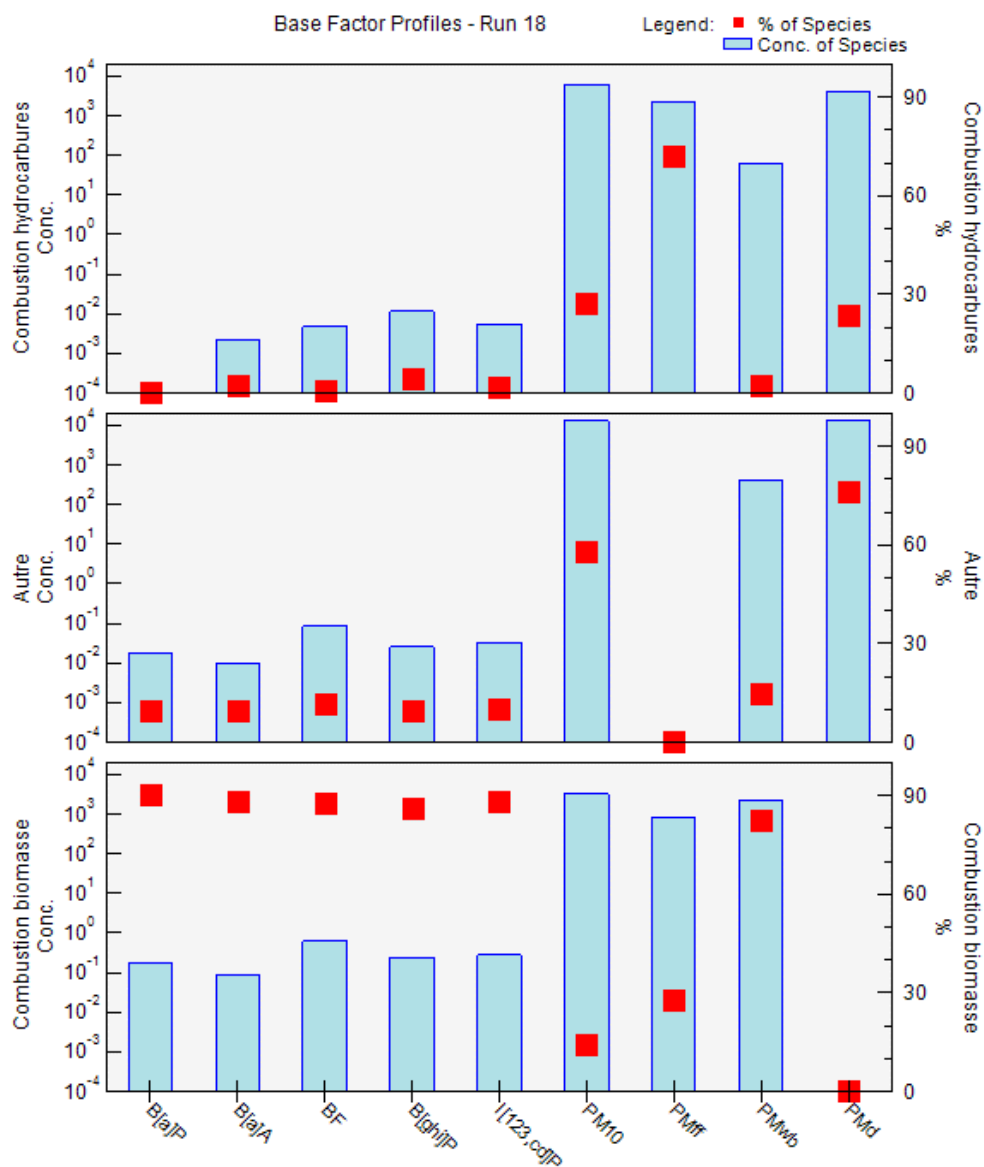


Figure 1 : Contributions relatives des espèces chimiques sélectionnées à chacun des 3 facteurs identifiés par PMF « simplifié » avec variable totale PM_{10} à Talence.

Les HAP particuliers sont essentiellement associés au facteur « combustion de biomasse » avec des contributions comprises entre 86 et 90%. Le reste est associé au facteur « autre » à hauteur de 9 à 11% et la contribution de la source « combustion d'hydrocarbures » est négligeable. La Figure 2, présente la répartition des sources dans le cas du B[a]P.

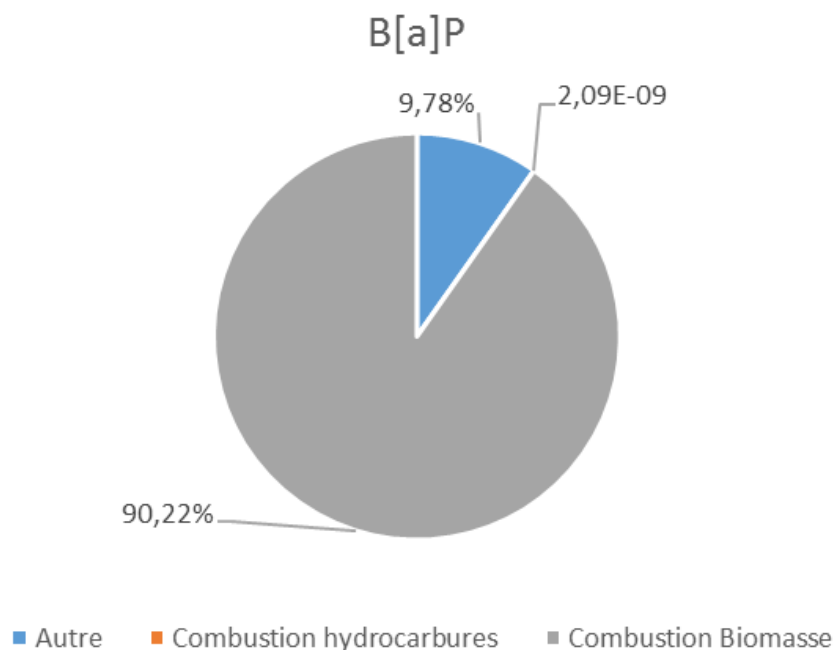


Figure 2 : Contribution des 3 facteurs identifiés par PMF « simplifié » avec variable totale à la concentration annuelle de B[a]P à Talence

De façon générale, la reconstruction des données par le modèle est très bonne avec des coefficients de corrélation supérieurs ou égaux à 0,96 (Tableau 6). Seul le coefficient de corrélation du B[a]A est plus faible ($R^2 = 0,88$) en lien probablement avec le caractère plus volatil de ce composé (HAP le plus léger considéré ici). A titre d'exemple, pour le cas du B[a]P, les concentrations modélisées (courbe rouge) suivent la même évolution temporelle que les concentrations observées (courbe bleue) (Figure 3). Le modèle et la solution retenue reproduisent donc bien les concentrations obtenues expérimentalement.

Tableau 6 : Coefficient de corrélation (R^2) entre les concentrations mesurées et les concentrations calculées par PMF « simplifié » pour les espèces sélectionnées à Talence.

Espèces	R^2
B[a]P	0,96
B[a]A	0,88
BF	0,99
B[ghi]P	0,99
Ind	0,99
PM _{wb}	0,93
PM _{ff}	1,00
PM _d	1,00
PM ₁₀	0,99

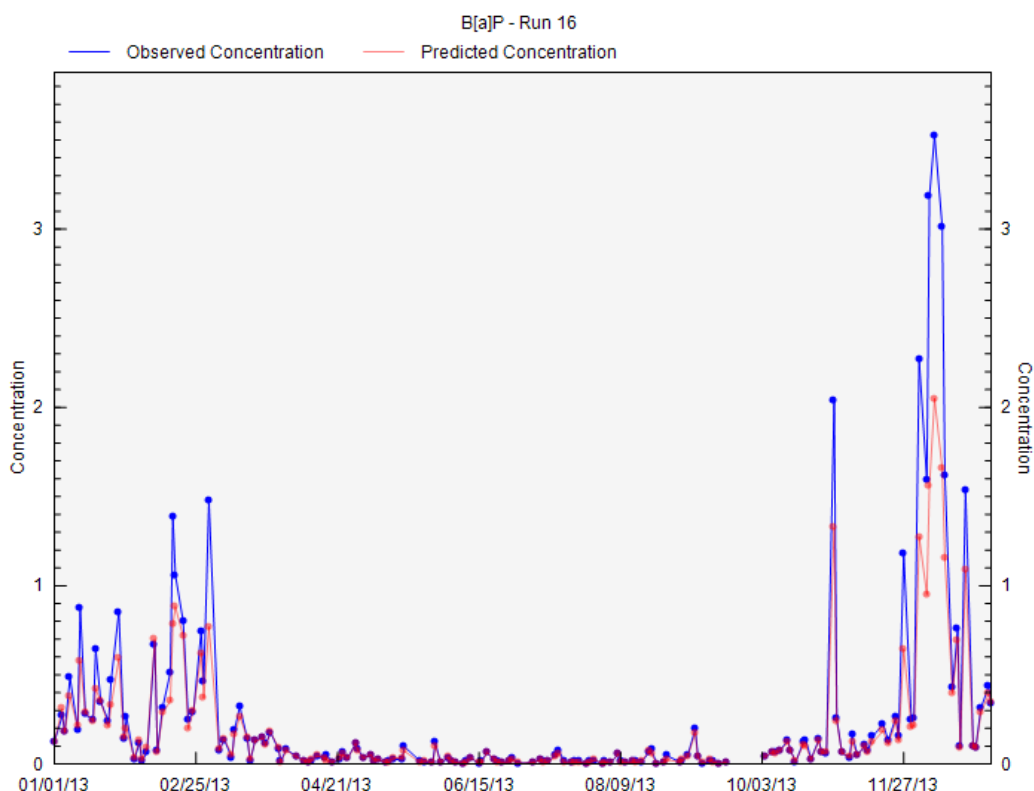


Figure 3 : Evolution temporelle des concentrations de B[a]P mesurées (courbe bleue) et des concentrations de B[a]P calculées par PMF « simplifié » (courbe rouge) à Talence.

Le modèle PMF « simplifié » montre un très fort impact de la combustion du bois à Talence. Elle constitue donc largement la source majoritaire de HAP particuliers tandis que la combustion d'hydrocarbures est une source négligeable dans ce cas.

3.1.2 SIRTA

L'identification des profils chimiques des facteurs « combustion de biomasse », « combustion hydrocarbures » et « autre » a été permise grâce à la présence majoritaire dans chacun des profils de PM_{wb} , PM_{ff} et PM_d (Figure 4).

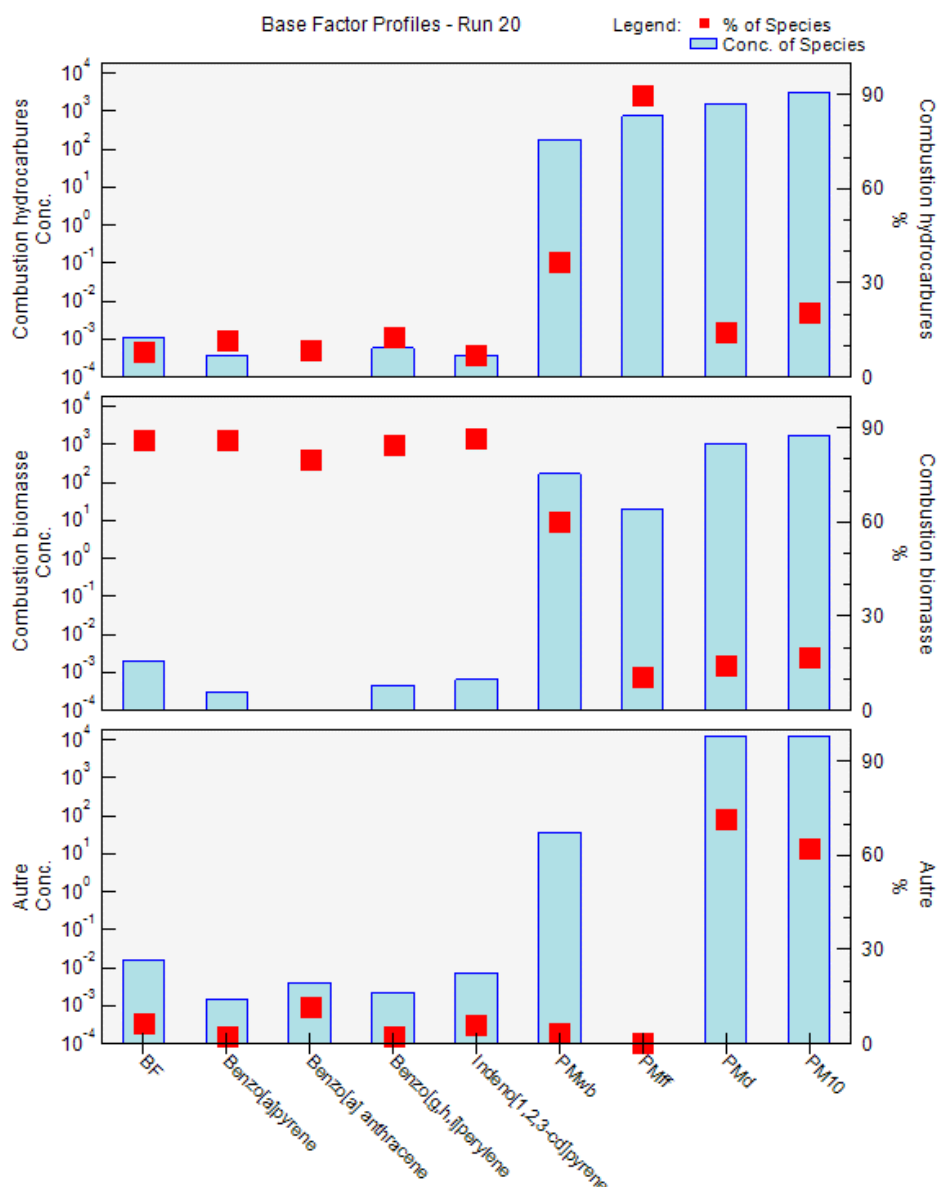


Figure 4 : Contributions relatives des espèces chimiques sélectionnées à chacun des 3 facteurs identifiés par PMF « simplifié » au SIRTA.

Le résultat du « Bootstrap » est de 100% pour tous les facteurs. La solution retenue est donc stable et répétable. Les coefficients de corrélation R^2 entre les concentrations observées et les concentrations modélisées sont pour la majorité des espèces proches de 1 (Tableau 7). Seuls le B[a]A et les PM_{wb} ont un R^2 légèrement inférieur aux autres espèces ($R^2 \approx 0,77$). Une fois de plus, pour le B[a]A, cette différence est probablement due au fait que ce composé est plus volatil que les autres HAP considérés. Dans le cas des PM_{wb} , le site du SIRTA pour l'année 2015 a été assez faiblement impacté par la combustion de biomasse avec des concentrations élevées en BC_{wb} et lévoglucosan seulement en Janvier 2015 et des températures relativement élevées en Décembre 2015 et donc une part de chauffage résidentiel moins importante.

Tableau 7 : Coefficients de corrélation (R^2) entre les concentrations mesurées et les concentrations calculées par PMF « simplifié » avec variable totale pour les espèces sélectionnées au SIRTÀ.

Espèces	R^2
B[a]P	0,97
B[a]A	0,77
BF	0,99
B[ghi]P	0,98
Ind	0,98
PM _{wb}	0,76
PM _{ff}	1,00
PM _d	1,00
PM ₁₀	1,00

La solution retenue montre que, selon le HAP considéré, entre 80% et 87% de la concentration des HAP proviennent de la combustion de biomasse, la combustion d'hydrocarbures émet entre 7% et 13% de HAP particulaire et qu'en moyenne 5% de ces composés sont issus d'autres sources. Plus particulièrement pour le B[a]P, l'évolution temporelle des concentrations modélisées (courbe rouge) est identique à celle des concentrations expérimentales (courbe bleue) que ce soit pour les faibles ou les fortes concentrations (Figure 5).

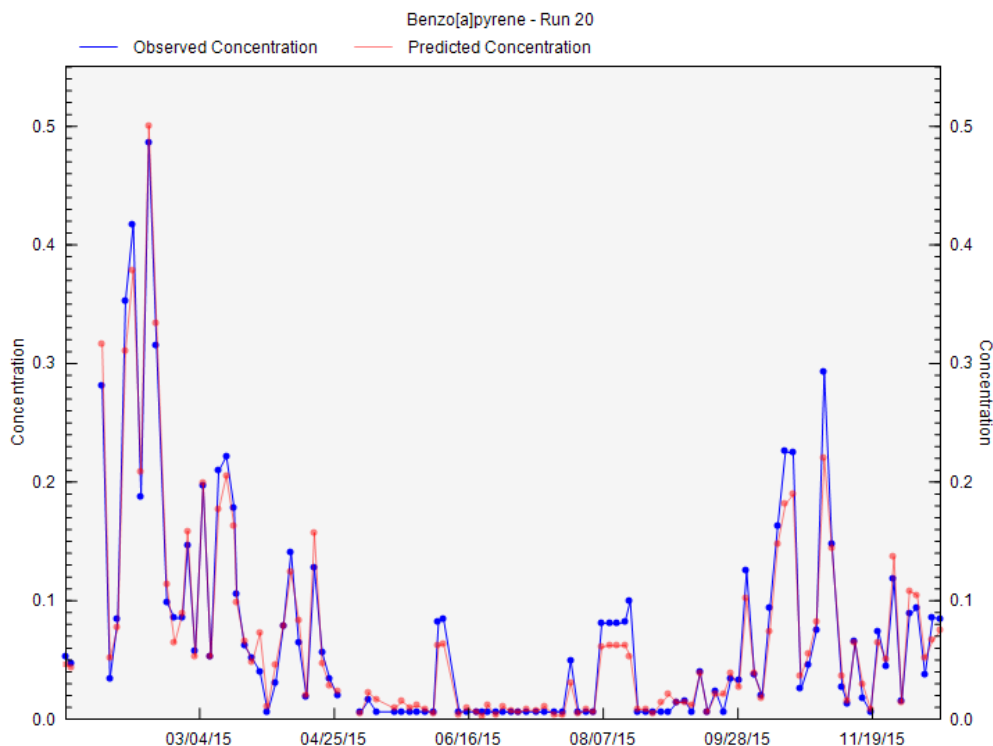


Figure 5 : Evolution temporelle des concentrations de B[a]P mesurées (courbe bleue) et des concentrations de B[a]P calculées par PMF « simplifié » (courbe rouge) au SIRTÀ.

A titre d'exemple, sur l'ensemble de l'année 2015, 86% du B[a]P provient de la combustion de la biomasse. La deuxième origine provient de la combustion d'hydrocarbures (12%). Environ 2% B[a]P est émis par des sources autres que la combustion de biomasse ou d'hydrocarbures à ce site (Figure 6).

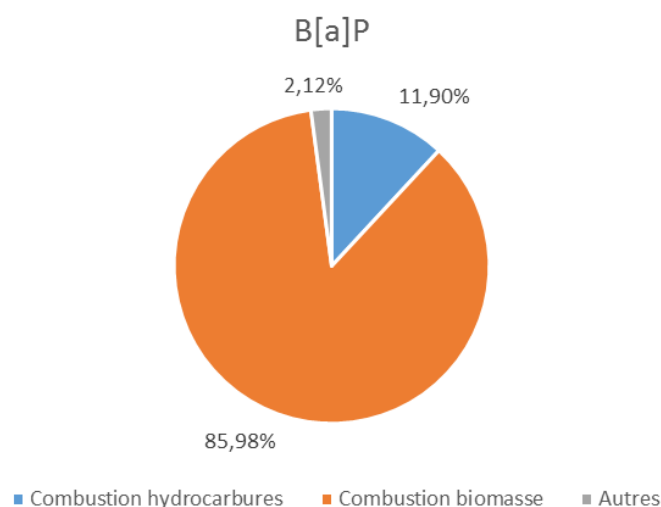


Figure 6 : Contribution des 3 facteurs identifiés par PMF « simplifié » à la concentration annuelle de B[a]P au SIRTÀ.

Finalement, au regard des résultats du SIRTÀ, le modèle PMF « simplifié » couplant les données aethalomètre et les données HAP permet une bonne reconstruction des concentrations de HAP. Ce constat est aussi vérifié pour les résultats de Talence. De plus, pour ces 2 sites, il apparaît que la source majoritaire de HAP particuliers est la combustion du bois à une contribution de l'ordre de 85%.

3.2 Modèle PMF « étendu »

Les résultats obtenus ont permis d'arriver à une solution optimale à 9 facteurs correspondant à 9 sources de PM identifiées grâce à la présence de composés chimiques et/ou éléments traceurs caractéristiques indiqués ci-dessous (en s'inspirant de la classification proposée par Waked et al, 2014) (Figures 7 et 8) :

- **Poussières et remise en suspension** (Facteur 1) : Ba, Cu, Mn, Al, Ca, Fe, Ti, K
- **Nitrate enrichi** (Facteur 2) : NO_3^- , NH_4^+
- **Sels marins** (Facteur 3) : Cl^- , Na^+ , Sr, Mg
- **Emissions biogéniques terrestres** (Facteur 4) : Polyols
- **Combustion de biomasse** (Facteur 5) : Levoglucosan, BC_{wb}
- **Emissions biogéniques marines** (Facteur 6) : MSA
- **Sels marins « anthropisés »** (Facteur 7) : Na^+ , Mg, Sr
- **Combustion d'hydrocarbures** (Facteur 8) : BC_{ff} et certains métaux tels que Mo, Sb, Zn, Fe
- **Sulfate enrichi** (Facteur 9) : SO_4^{2-} , NH_4^+



Figure 7 : Contributions relatives des espèces chimiques sélectionnées à chacun des 9 facteurs identifiés par PMF « étendu » au SIRTa en 2015 et évolutions temporelles de ces contributions. Facteur 1 : poussières et remise en suspension ; Facteur 2 : nitrate enrichi ; Facteur 3 : sels marins ; Facteur 4 : émissions biogéniques terrestres ; Facteur 5 : combustion de la biomasse ; Facteur 6 : émissions biogéniques marines ; Facteur 7 : sels marins « anthropisés » ; Facteur 8 : Combustion d'hydrocarbures ; Facteur 9 : sulfate enrichi.

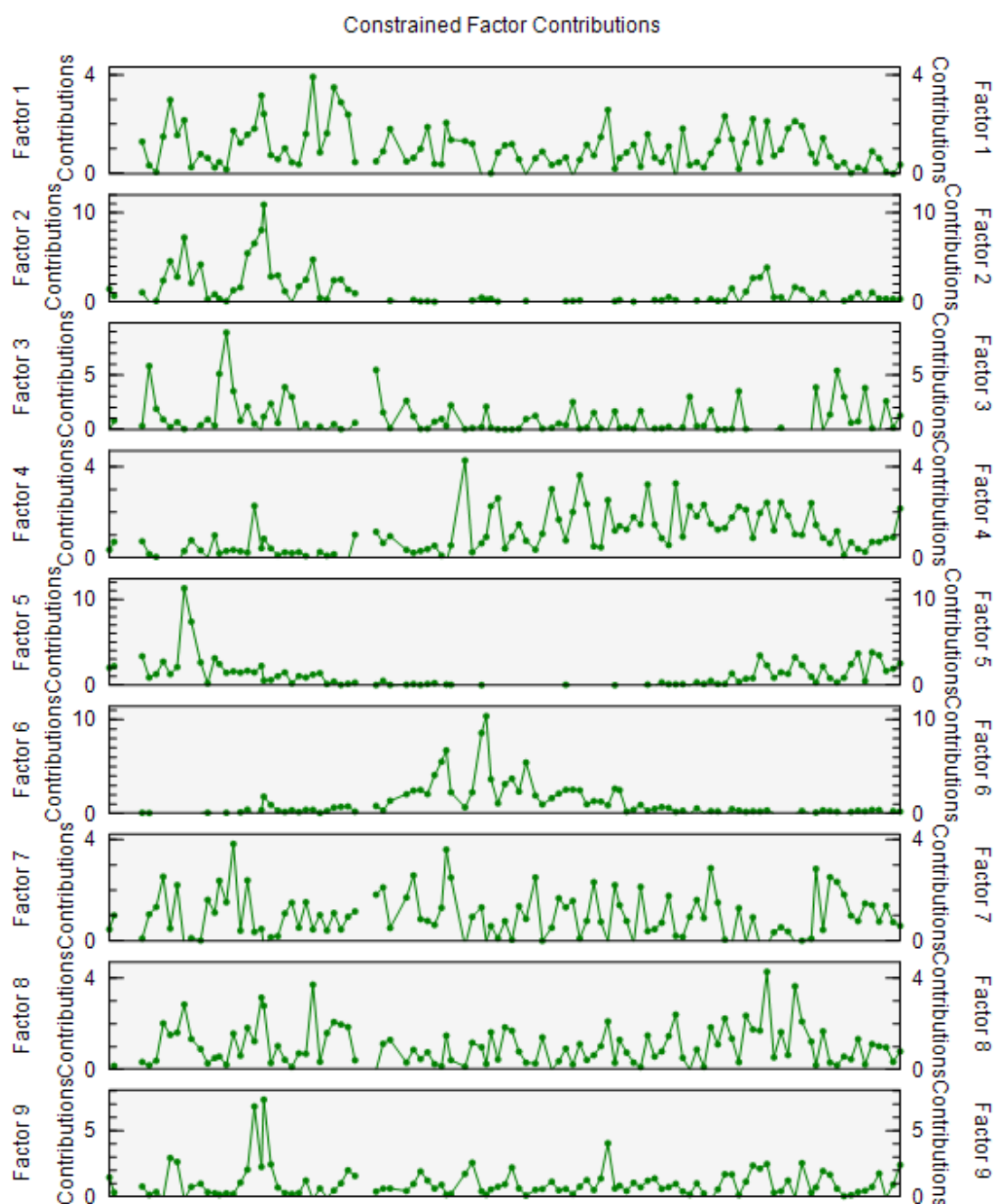


Figure 8 : Evolutions temporelles de ces contributions des 9 facteurs identifiés par PMF « étendu » au SIRTa en 2015 et. Facteur 1 : poussières et remise en suspension ; Facteur 2 : nitrate enrichi ; Facteur 3 : sels marins ; Facteur 4 : émissions biogéniques terrestres ; Facteur 5 : combustion de la biomasse ; Facteur 6 : émissions biogéniques marines ; Facteur 7 : sels marins « anthropisés » ; Facteur 8 : Combustion d'hydrocarbures ; Facteur 9 : sulfate enrichi.

Tous les facteurs présentent un « bootstrap » de 100% sauf le facteur « combustion d'hydrocarbures » (à 95%), et le facteur « poussières et remise en suspension » (à 78%). Au vu de ces valeurs, la stabilité de cette solution à 9 facteurs semble satisfaisante.

Le modèle a tendance à sous-estimer les concentrations HAP. L'évolution temporelle des concentrations de HAP est correcte avec des coefficients de corrélations entre 0.7 et 0.8. Le B[a]A présente une fois de plus le R^2 le plus faible (0.6). De façon générale, la reconstruction des données HAP est moins bonne qu'avec le modèle simplifié. Ce même constat est observé pour les éléments métalliques dont les coefficients de corrélation sont très variables d'un élément à un autre et sont pour certains inférieurs à 0,5. Pour les autres espèces (ions, sucres, BC_{wb}, BC_{ff} et PM₁₀), la reconstruction de leurs concentrations est très bonne puisque leurs coefficients de corrélation sont supérieurs à 0,89 (Tableau 8).

Tableau 8 : Coefficients de corrélation (R^2) entre les concentrations mesurées et les concentrations calculées par PMF « classique » pour les espèces sélectionnées au SIRTa.

Espèces	R^2	Espèces	R^2
OC*	0.94	Cd	0,76
Cl ⁻	1,00	Co	0,79
NO ₃ ⁻	0,99	Cu	0,79
SO ₄ ²⁻	0,99	La	0,47
Na ⁺	1,00	Mn	0,77
NH ₄ ⁺	1,00	Mo	0,66
MSA	1,00	Ni	0,35
Levoglucozan	0,97	Pb	0,83
Polyols	1,00	Rb	0,79
B[a]P	0,72	Sb	0,76
B(a)A	0,56	Sr	0,16
BF	0,76	Ti	0,55
B[ghi]P	0,75	Zn	0,79
Ind	0,79	V	0,47
BC _{wb}	0,90	Al	0,55
BC _{ff}	0,99	Ca	0,60
PM ₁₀	0,89	Fe	0,72
As	0,75	K	0,83
Ba	0,67	Mg	0,62

D'après le modèle PMF, dans cette configuration de calcul, les HAP sont principalement émis par la combustion de la biomasse à 50% (Figure 7). Les sources « poussières et remise en suspension », « nitrate enrichi », « sels marins anthropisés » et « combustion d'hydrocarbures » ont aussi des contributions significatives et de l'ordre de, en moyenne pour les HAP particuliers, 23%, 15%, 7% et 3%, respectivement. Les 2 sources, « nitrate enrichi » et « sels marins anthropisés », témoignent d'une influence régionale sur les concentrations en HAP par rapport à l'influence locale directe mise en évidence avec la source majeure « combustion de biomasse » et également « combustion d'hydrocarbures ». Le facteur « nitrate enrichi » met également en avant que dans celui-ci, les HAP proviennent certainement majoritairement de sources trafic « éloignées » (comme les NO_x).

En prenant l'exemple du B[a]P au SIRTA, il s'avère que sur l'année 2015, 48% du composé provient de la combustion de biomasse (Figure 9). Les facteurs « poussières et remise en suspension » et « nitrate enrichi » contribuent respectivement à 23,2% et 16,5% à la concentration annuelle de B[a]P sur ce site. La source « combustion d'hydrocarbures » contribue à 5%.

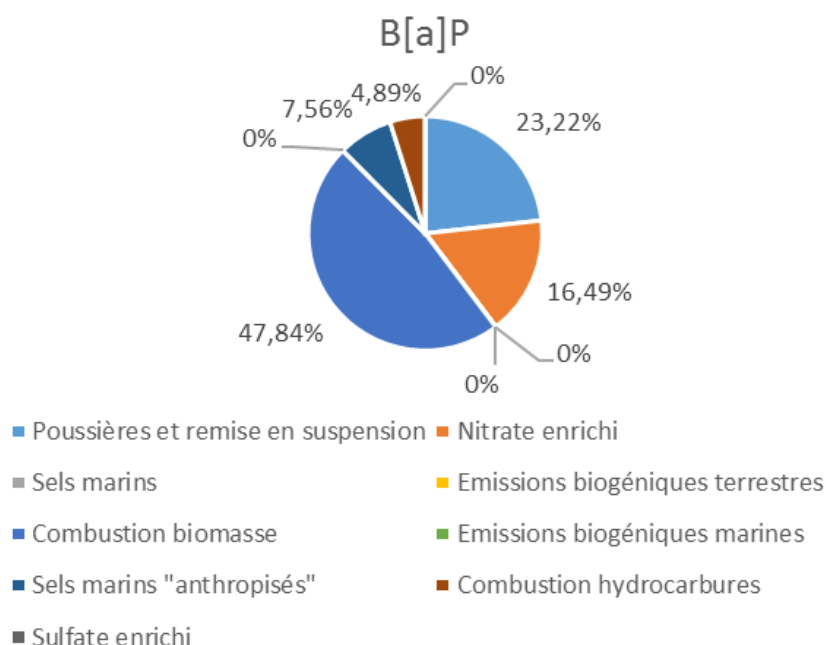


Figure 9 : Contribution des 9 facteurs identifiés par PMF « classique » à la concentration annuelle de B[a]P au SIRTA.

L'évolution temporelle des concentrations en B[a]P calculées par le modèle est similaire à celle des concentrations observées (Figure 10). Cependant, pour certains pics de concentrations en hiver, comme par exemple du 03/02/15 au 09/02/15, les concentrations modélisées sont sous estimées.

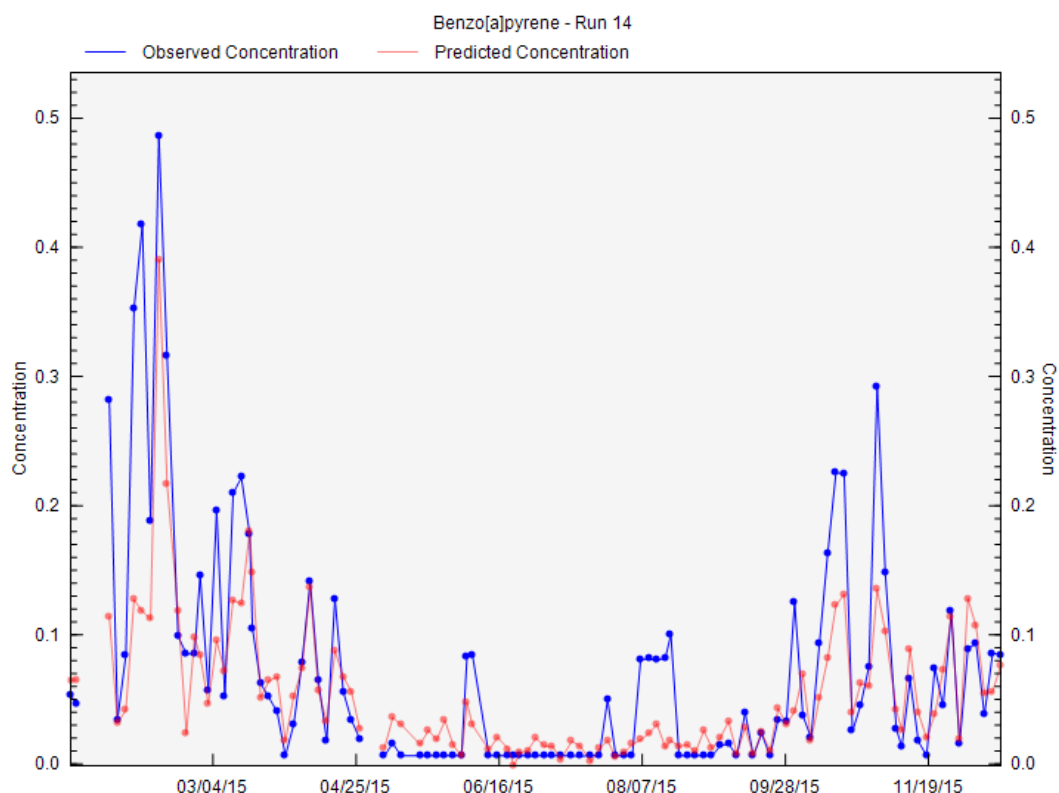


Figure 10 : Evolution temporelle des concentrations de B[a]P mesurées (courbe bleue) et des concentrations de B[a]P calculées par le modèle PMF (courbe rouge) au SIRTa.

En définitive, le modèle PMF « étendu » met en évidence 5 sources distinctes de HAP particulières en lien avec les sources de PM et notamment le transport de ces composés avec des sources à influence plus régionale. En parallèle, le modèle PMF « simplifié » qui suppose la présence de 3 sources d'émissions des particules atmosphériques et qui se focalise sur la différenciation entre les sources de combustion de la biomasse et la combustion d'hydrocarbures, montre que les HAP sont essentiellement répartis dans le facteur « combustion de biomasse ». La contribution attribuée à ce facteur est 2 fois plus importante avec le modèle « simplifié » qu'avec le modèle PMF « étendu ». Quant à la combustion d'hydrocarbures, le modèle « simplifié » estime une contribution aux HAP particulières de l'ordre de 7% alors que pour le modèle « étendu » cette contribution n'est que de 3%. De plus, l'utilisation du modèle « simplifié » ne considérant que 3 facteurs ne nous permet pas de visualiser la contribution des sources autres que la combustion de biomasse et la combustion d'hydrocarbures et donc de retranscrire une influence plus régionale des sources de HAP et leur transport.

4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Le travail réalisé ici a permis de mettre en œuvre un modèle PMF en combinant les données HAP et BC issues du modèle aethalomètre afin d'évaluer les sources de HAP particulières. Le travail a été réalisé sur des jeux de données provenant de deux sites aux caractéristiques différentes : fond urbain et fond régional.

Les résultats obtenus montrent que le modèle PMF « simplifié » couplant les données du modèle aethalomètre avec les données HAP produit des résultats stables et une bonne reconstruction des concentrations des espèces étudiées. La source majoritaire des HAP particuliers est liée à la « combustion de biomasse » à hauteur de 80% à 87%. La contribution de la source « combustion d'hydrocarbures » (pouvant être relié en premier lieu au trafic automobile) est assez limitée notamment dans le cas du site de Talence, site très fortement impacté par la combustion de biomasse.

En incluant des données de composition chimique des PM, la PMF « étendu » permet d'estimer sur le site du SIRTa qu'environ 50% des HAP particuliers proviennent de la « combustion de biomasse », 23% des « poussières et remise en suspension » et 3% de la « combustion d'hydrocarbures » ; le reste provient de contributions à l'échelle certainement plus régionale avec les sources « nitrate enrichi » (et certainement originaire du trafic « éloigné ») et « sel marin anthropisé ». Ainsi, en comparaison du modèle PMF « étendu », le modèle PMF « simplifié » permet certes d'obtenir des tendances générales sur les sources des HAP mais il ne retranscrit que les sources de combustion directes et locales. De plus, il surestime certainement l'impact de la combustion de la biomasse.

L'exercice de la PMF « étendu » effectué au SIRTa est toutefois limité à un seul site de fond régional. Il serait intéressant d'effectuer le même type d'exercice sur un site à priori directement impacté par les sources de combustion locales, tel que Talence, dans le but de comparer les deux approches dans un autre environnement. Cette comparaison PMF « étendu/simplifié » pourrait aussi être réalisée sur d'autres types de site (e.g., proximité automobile ou industrielle) afin de voir si la différence de solutions obtenue au SIRTa se rencontre aussi lors de l'étude d'autres sites. Ceci impliquerait de réaliser, en parallèle des mesures de BC, la collecte et l'analyse chimique étendue (HAP, métaux, anions/cations, EC/OC, polyols, lévoglucosan) d'un nombre minimum de filtres (environ 100) sur chaque site compatible avec une analyse de données de type PMF.

5. REFERENCES

- AFNOR, Juillet 2008. NF EN 15549 - Qualité de l'air – Méthode normalisée pour le mesurage de la concentration du benzo[a]pyrène dans l'air ambiant.
<https://www.boutique.afnor.org/norme/nf-en-15549/qualite-de-l-air-methode-normalisee-pour-le-mesurage-de-la-concentration-du-benzoapyrene-dans-l-air-ambiant/article/655247/fa144412>
- AFNOR, Juillet 2013. XP CEN/TS 16450 - Air ambiant - Systèmes automatisés de mesurage de la concentration de matière particulaire (PM10, PM2,5).
<https://www.boutique.afnor.org/norme/xp-cen-ts-16450/air-ambiant-systemes-automatisees-de-mesurage-de-la-concentration-de-matiere-particulaire-pm10-pm25/article/813624/fa156444>
- AFNOR, Mai 2014. XP CEN/TS 16645 - Air ambiant - Mesurage pour la mesure de benz[a]anthracène, benzo[b]fluoranthène, benzo[j]fluoranthène, benzo[k]fluoranthène, dibenz[a,h]anthracène, indéno[1,2,3-cd]pyrène et benzo[ghi]perylène.
<https://www.boutique.afnor.org/norme/xp-cen-ts-16645/air-ambiant-mesurage-pour-la-mesure-de-benzaanthracene-benzobfluoranthene-benzofluoranthene-benzokfluoranthene-di/article/819367/fa173568>
- AFNOR, Juin 2014. NF EN 12341 - Qualité de l'air – Méthode normalisée de mesurage gravimétrique pour la détermination de la concentration massique MP10 ou MP2,5 de matière particulaire en suspension. AFNOR.
<https://www.boutique.afnor.org/norme/nf-en-12341/air-ambiant-methode-normalisee-de-mesurage-gravimetrique-pour-la-determination-de-la-concentration-massique-mp10-ou-mp25-de-m/article/804671/fa156445>
- Albinet A., Balbiani J., Beauchamp M., Mise en œuvre d'une méthodologie d'estimation des sources de HAP par modèle récepteur. Application de la Positive Matrix Factorization (PMF), LCSQA 2013 <http://www.lcsqa.org/rapport/2013/ineris/mise-oeuvre-methodologie-estimation-sources-hap-modele-recepteur-application-pos>
- Alleman, L. Y., Lamaison, L., Perdrix, E., Robache, A. and Galloo, J.-C.: PM10 metal concentrations and source identification using positive matrix factorization and wind sectoring in a French industrial zone, *Atmospheric Research*, 96(4), 612–625, doi:10.1016/j.atmosres.2010.02.008, 2010.
- Cavalli, F., Viana, M., Yttri, K. E., Genberg, J. and Putaud, J.-P.: Toward a standardised thermal-optical protocol for measuring atmospheric organic and elemental carbon: the EUSAAR protocol, *Atmos. Meas. Tech.*, 3(1), 79–89, doi:10.5194/amt-3-79-2010, 2010.
- European Official Journal : Directive 2004/107/CE of the European Parliament and of the Council of 15 December 2004 relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air (26/01/2005), *Official Journal*, L23, 3-16., 2005
- European Official Journal : Directive (UE) 2015/1480 de la commission du 28 août 2015 modifiant plusieurs annexes des directives du Parlement européen et du Conseil 2004/107/CE et 2008/50/CE établissant les règles concernant les méthodes de référence, la validation des données et l'emplacement des points de prélèvement pour l'évaluation de la qualité de l'air ambiant (29/08/2015) ; *Official Journal*, L226, 4-11., 2015

Favez O., Bilan des travaux 2014-2015 du programme CARA, LCSQA 2015.
<http://www.lcsqa.org/rapport/2015/ineris/programme-cara-bilan-travaux-2014-2015>

Favez O., Amodeo T., Episodes de pollution particulaire de début décembre 2016. Eléments de compréhension à partir des mesures automatiques (période du 30 novembre au 12 décembre 2016), LCSQA 2016
<http://www.lcsqa.org/rapport/2016/ineris/episodes-pollution-particulaire-debut-decembre-2016-elements-comprehension-par-0>

Gianini M.F.D., Fischer A., Gehrig R., Ulrich A., Wichser A., Piot C., Besombes J.-L., Hueglin C.: Comparative source apportionment of PM₁₀ in Switzerland for 2008/2009 and 1998/1999 by Positive Matrix Factorisation, *Atmospheric Environment* 44 (2010) 149e158

Golly B. : Etudes des sources et de la dynamique atmosphérique de polluants organiques particuliers en vallées alpines : apport de nouveaux traceurs organiques aux modèles récepteurs, Université de Grenoble, 15 octobre 2014

Guernion, P.Y. : Caractérisation des particules PM₁₀ sur la région Bordelaise. Bilan des mesures réalisées en 2012-2013, Rapport AIRAQ ET/PE/14/02, 2014

Mansurov, Z. A.: Soot Formation in Combustion Processes (Review), *Combust Explos Shock Waves*, 41(6), 727, doi:10.1007/s10573-005-0083-2, 2005

Paatero, P.; Tapper, U. (1994). Positive matrix factorization: A non-negative factor model with optimal utilization of error estimates of data values. *Environmetrics*, 5: 111-126.

Paatero, P. (1997). Least squares formulation of robust non-negative factor analysis. *Chemom. Intell. Lab. Sys.*, 37: 23-35.

Ravindra K., Sokhia R., Van Grieken R.: Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: Source attribution, emission factors and regulation, *Atmospheric Environment* 42 (2008) 2895–2921

Sandradewi, J., Prévôt, A. S. H., Weingartner, E., Schmidhauser, R., Gysel, M. and Baltensperger, U.: A study of wood burning and traffic aerosols in an Alpine valley using a multi-wavelength Aethalometer, *Atmospheric Environment*, 42(1), 101–112, doi:10.1016/j.atmosenv.2007.09.034, 2008.

Sciare, J., Oikonomou, K., Cachier, H., Mihalopoulos, N., Andreae, M. O., Maenhaut, W. and Sarda-Estève, R.: Aerosol mass closure and reconstruction of the light scattering coefficient over the Eastern Mediterranean Sea during the MINOS campaign, *Atmos. Chem. Phys.*, 5(8), 2253–2265, doi:10.5194/acp-5-2253-2005, 2005.

Verlhac, S. and Albinet, A., 2015. European Interlaboratory Comparison for the analysis of PAH in ambient air. LCSQA: <http://www.lcsqa.org/rapport/2015/ineris/european-interlaboratory-comparison-for-the-analysis-of-pah-in-ambient-air>.

Waked A., Favez O., Alleman L. Y., Piot C., Petit J.-E., Delaunay T., Verlinden E., Golly B., Besombes J.-L., Jaffrezo J.-L., and Leoz-Garziandia E.: Source apportionment of PM₁₀ in a north-western Europe regional urban background site (Lens, France) using positive matrix factorization and including primary biogenic emissions, *Atmos. Chem. Phys.*, 14, 3325–3346, 2014. www.atmos-chem-phys.net/14/3325/2014/doi:10.5194/acp-14-3325-2014

Yttri, K. E., Schnelle-Kreis, J., Maenhaut, W., Abbaszade, G., Alves, C., Bjerke, A., Bonnier, N., Bossi, R., Claeys, M., Dye, C., Evtyugina, M., García-Gacio, D., Hillamo, R., Hoffer, A., Hyder, M., Iinuma, Y., Jaffrezo, J.-L., Kasper-Giebl, A., Kiss, G., López-Mahia, P. L., Pio, C., Piot, C., Ramirez-Santa-Cruz, C., Sciare, J., Teinilä, K., Vermeylen, R., Vicente, A. and Zimmermann, R.: An intercomparison study of analytical methods used for quantification of levoglucosan in ambient aerosol filter samples, *Atmos. Meas. Tech.*, 8(1), 125–147, doi:10.5194/amt-8-125-2015, 2015.

6. GLOSSAIRE

Abréviations	Libellés
AIRAQ	Air Aquitaine. Maintenant : Atmo Nouvelle Aquitaine
B[a]A	Benzo(a)anthracène
B[a]P	Benzo(a)pyrène
BC	Black Carbon
BC_{ff}	Carbone suie issu de la combustion de matière fossile
BC_{wb}	Carbone suie issu de la combustion de biomasse
BF	BenzoFluoranthène
B[ghi]P	Benzo(ghi)pérylène
HAP	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
Ind	Indéno(1,2,3-c,d)pyrène
MSA	Acide méthylsulfonique
OC	Carbone Organique
PM	Particulate Matter (Particule atmosphérique)
PM₁₀	Particule atmosphérique de diamètre inférieur à 10µm
PM_{ff}	Particulate Matter from Fossil Fuel (particule atmosphérique issue de la combustion de matière fossile)
PM_{wb}	Particulate Matter from Wood Burning (particule atmosphérique issue de la combustion de biomasse)
PMF	Positive Matrix Factorization
US-EPA	United States Environmental Protection Agency (agence américaine de protection de l'environnement)



direction et secrétariat du LCSQA

INERIS - parc technologique Alata - BP 2 - F60550 Verneuil-en-Halatte
tél. 03 44 55 64 04 - www.lcsqa.org