

Real-time and integrated measurement of potential human exposure to particle-bound Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) from aircraft exhaust

Mesures en temps réel et mesures intégrées de l'exposition humaine potentielle aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) émis par les moteurs d'avions

Childers JW, Witherspoon CL, Smith LB, Pleil JD
Environmental Health Perspectives

Référence : 108 (9):853- 862 (2000).

Bibliographie : 33 références

Analyse commentée par :

Yvon Le Moullec et Alain Person,
Laboratoire d'hygiène de la ville de Paris

Glossaire

HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques) :
les HAP sont des composés chimiques constitués de deux à six cycles carbonés aromatiques juxtaposés. Selon le nombre de cycles, ils sont classés en HAP légers (jusqu'à 3 cycles) et HAP lourds (4 cycles et plus) qui peuvent avoir des caractéristiques physico-chimiques et toxicologiques différentes. Les HAP, dont l'un des plus étudiés est le benzo(a)pyrène, peuvent être absorbés sur les particules et réagir avec les autres polluants de l'air. Ils proviennent principalement des processus de combustion de matières organiques, surtout lorsque celle-ci est incomplète.

Problématique

L'exposition potentielle des personnels de maintenance des avions, des équipages et des passagers aux émissions polluantes des réacteurs et plus particulièrement aux composés organiques volatils, semi-volatils et non-volatils est, depuis plusieurs années, une préoccupation de l'industrie aéronautique civile et militaire. Dans ce contexte, des investigations ont été menées aux Etats-Unis par l'EPA (Environmental Protection Agency), en relation avec l'US Air Force, afin d'évaluer le risque sanitaire lié à l'inhalation des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), connus pour leurs potentialités cancérogènes.

Résumé

Objectif

Les auteurs visent à évaluer l'exposition aux HAP de différentes catégories de personnels qui travaillent dans un aéroport américain. Il s'agit de caractériser le profil des HAP provenant des émissions des réacteurs des avions et des autres sources de combustion présentes dans l'aéroport, de hiérarchiser leur importance en terme d'exposition et de déterminer quelles sont les phases d'activités les plus critiques qui pourraient justifier le port d'appareils de protection pour les personnels les plus exposés.

Méthodologie

L'étude a été menée au cours du mois de mai 1999 dans une base militaire de Géorgie (Etats-Unis) au cours d'une série d'exercices impliquant le personnel de navigation et le personnel au sol de l'US Air Force. Les mesures se sont déroulées sur trois jours, par la caractérisation successive de plusieurs situations. Toutes les mesures ont été effectuées en site fixe et ont duré quelques heures. La qualité de l'air a été étudiée lors de différentes situations d'exposition :

- à proximité d'un avion cargo militaire de type C130H, sous le panache des réacteurs sur le tarmac, pendant la mise en route des moteurs ;
- à proximité d'équipements au sol fonctionnant avec des moteurs diesel ;
- à l'intérieur d'un hangar affecté à la maintenance ;
- à l'intérieur de l'avion au cours d'un vol d'entraînement et pendant des phases d'essais moteurs et de manœuvre au sol (zone de transport des passagers et cockpit).

En complément, un site de référence a été choisi dans une salle de repos, à l'écart des activités de l'aéroport.

Les moyens de mesure des HAP ont été de deux types :

- trois analyseurs à détection photoélectrique PAS (Photoelectric Aerosol Sensor), donnant une information en temps réel, afin d'apprécier l'évolution temporelle des teneurs instantanées en HAP au cours des différentes activités. Leur conception repose sur le même principe mais ils diffèrent en particulier par les caractéristiques du faisceau de lumière excitatrice. Leur réponse est en principe surtout dépendante des teneurs en HAP associés aux particules en suspension ;
- un prélèvement de l'aérosol sur filtre en fibre de quartz et polymère XAD2 couvrant la période complète de l'activité étudiée (de 45 à 135 minutes) suivi d'une analyse en laboratoire. Les HAP associés à la phase gazeuse et à la fraction PM_{2,5} des particules en suspension sont prélevés à un débit de 10 l/min. L'analyse est effectuée par chromatographie en phase gazeuse et détection par spectrométrie de masse (CPG/SM).

Autant que possible, l'ensemble des moyens a été mis en œuvre simultanément avec duplication des mesures. Pour des raisons de sécurité, seuls les analyseurs portables alimentés sur batterie ont été embarqués à bord de l'avion.

Résultats

En ce qui concerne la hiérarchie des expositions au cours des activités étudiées, les analyseurs en continu ont délivré des signaux, moyennés sur la durée de l'activité, cohérents avec ceux obtenus par échantillonnage sur filtre et polymère XAD2.

Au total, 34 HAP de 2 à 5 cycles aromatiques ont été quantifiés par CPG/SM pour les situations étudiées au sol, à l'extérieur de l'avion. La quasi-totalité des composés est présente en phase volatile, avec une majorité de dérivés alkylés.

L'échelle de teneurs moyennes sur les périodes des mesures, exprimées en HAP totaux, s'étend de 600 ng/m³ (lors des opérations minimales de maintenance dans un hangar) à 9 800 ng/m³ (à proximité des équipements au sol placés sur le tarmac et fonctionnant avec des moteurs Diesel).

Dans l'avion, les niveaux sont faibles pendant la phase de préparation du vol ; par contre, au

moment du décollage, le positionnement sur la piste d'envol s'effectuant juste derrière un autre appareil, les niveaux intérieurs s'accroissent rapidement pour atteindre 400 ng/m³.

En vol, les teneurs sont très faibles mais s'élèvent à 100 ng/m³ lors des manœuvres d'ouverture de la trappe de parachutage. Après l'atterrissage, l'ouverture de cette même trappe conduit à des teneurs intérieures atteignant 150 ng/m³.

Les composés en phase particulaire sont détectés uniquement pour les situations de forte exposition. La teneur maximale en benzo(a)pyrène avoisine 4 ng/m³ à 20 m sous le panache des réacteurs de l'avion lors des tests moteurs ainsi qu'à proximité des équipements à moteur Diesel présents sur le tarmac.

Commentaires

Sur le plan métrologique, cet article apporte des informations importantes sur l'intérêt et les limites de l'utilisation des analyseurs fournissant des teneurs en temps réel. Ainsi, la duplication des mesures réalisées avec des analyseurs PAS d'un même type ont conduit à des résultats satisfaisants (R^2 variant de 0,93 à 0,99 selon le matériel testé). Les séries chronologiques des teneurs instantanées mesurées par les différents types d'analyseurs présentent également de fortes similitudes. Cependant, les résultats montrent que chaque analyseur a un comportement qui lui est propre et que les facteurs d'échelle d'une situation à une autre ne sont pas transposables. L'explication tient en partie aux émissions transitoires de forte intensité et de courte durée au cours desquelles la réponse des analyseurs est plus ou moins altérée à cause du manque de linéarité et de la saturation du signal à des moments particuliers de la mesure. Les comparaisons entre mesures par analyseurs en temps réel et par prélèvements intégrés sont, par contre, moins satisfaisantes. Ceci peut en partie s'expliquer par le fait que les prélèvements sur filtre et résine sont réalisés à un débit relativement faible, sur des durées d'une à deux heures, conduisant, pour les HAP particuliers, à un nombre important de concentrations inférieures au seuil de détection. Or, c'est sur les composés particuliers que la réponse des analyseurs PAS est la plus significative. Sur le plan de l'impact sanitaire, les auteurs se placent

clairement dans une optique de surveillance des ambiances de travail et mettent autant que possible leurs résultats en relation avec les valeurs fournies par le NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health). Ils comparent également leurs résultats avec ceux issus de mesurages effectués avec des dispositifs comparables dans des situations d'exposition environnementale classiques. Ainsi, les concentrations dans la salle de repos et dans le hangar de maintenance sont proches de celles d'une zone résidentielle urbaine ou de celles mesurées dans des ambiances intérieures. Les niveaux de HAP dans l'avion cargo C-130H sont inférieurs à ceux mesurés dans une automobile circulant dans un trafic dense. Les niveaux sous le panache des réacteurs sur le tarmac, pendant la mise en route des moteurs, présentent des niveaux environ 10 à 25 fois plus élevés qu'en zone urbaine résidentielle pendant la saison de chauffage. Si les mesures intégrées et en temps réel fournissent des informations complémentaires, il est important de noter qu'en l'absence de procédure validée de calibration des analyseurs en temps réel, ces derniers ne peuvent donner que des informations semi-

quantitatives. La dynamique de la réponse permet de mettre en évidence que des pics aigus de pollution par les HAP se produisent lors de certaines activités. Ces analyseurs sont donc utiles pour identifier les phases de travail pendant lesquelles une protection des personnels est nécessaire et, dans ce contexte, leur caractère portatif est un atout précieux.

Conclusion

Cet article est surtout intéressant sur le plan métrologique, montrant l'intérêt et les limites des analyseurs en temps réel de type PAS. Les niveaux de concentration enregistrés au cours de cette étude, lors des différents mesurages, sont surtout intéressants dans une optique d'hygiène professionnelle. Le document fournit également quelques données semi-quantitatives sur les niveaux d'exposition des passagers des avions, mais il n'apporte pas d'éléments d'information pertinents pour évaluer l'exposition des populations autour des aéroports.