



HAL
open science

Évaluation métrologique et biométrologique de l'exposition aux HAPs dans les centres de contrôle technique automobile

D. Lucas, P. Capellmann, B. Bouard, M.-L. Parod, I. Petton, D. Jegaden, V. Appere

► To cite this version:

D. Lucas, P. Capellmann, B. Bouard, M.-L. Parod, I. Petton, et al.. Évaluation métrologique et biométrologique de l'exposition aux HAPs dans les centres de contrôle technique automobile. Archives des Maladies Professionnelles et de L'Environnement, 2019, 80, pp.250 - 256. <10.1016/j.admp.2019.02.001>. <hal-03487224>

HAL Id: hal-03487224

<https://hal.science/hal-03487224v1>

Submitted on 20 Jul 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC BY-NC 4.0 - Attribution - Non-commercial use - International License

Evaluation métrologique et biométrologique de l'exposition aux HAPs dans les centres de contrôle technique automobile

David Lucas*, Pascale Capellmann, Bertrand Bouard, Marie-Laure Parod,
Isabelle Petton, Dominique Jegaden, Vanessa Appere

*Auteur correspondant :

David LUCAS

CHU Brest

Service de santé au Travail en Iroise

26, rue de l'Eau Blanche

29200 Brest

E-mail : d.lucas@metrabrest.com

L'ensemble des auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêt.

Introduction :

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAPs) regroupent plusieurs centaines de molécules retrouvées de manière ubiquitaire dans l'environnement [1]. De nombreux HAPs présents dans l'atmosphère existent simultanément sous forme gazeuse et particulaire avec généralement une prépondérance des HAPs gazeux sur les particulaires. Leur impact sanitaire et leur comportement dans l'environnement, diffèrent selon la forme considérée [2].

L'exposition professionnelle à ces composés est associée à un excès de risque de cancer de la vessie, de la peau et du poumon [3]. Outre leurs propriétés cancérigènes, les HAPs présentent un caractère mutagène dépendant de la structure chimique des métabolites formés. Des données expérimentales qu'ils pouvaient aussi entraîner une diminution de la réponse du système immunitaire, augmentant ainsi les risques d'infection.

Cette famille chimique compte plus d'une centaine de composés dont 16 sont considérés comme prioritaires, en raison d'effets préoccupants sur la santé par, l'United States Environmental Protection Agency (US-EPA 1984) [4].

Selon le règlement CLP de l'Union Européenne (1272/2008 et 790/2009), huit HAP particuliers sont classés cancérigènes de catégorie 1B (substance dont le potentiel cancérigène pour l'être humain est supposé) :

Benzo(a)anthracène (BaA), Benzo(b)fluoranthène (BbF), Benzo(j)fluoranthène (BjF), Benzo(k)fluoranthène (BkF), Benzo(a)pyrène (BaP), Benzo(e)pyrène (BeP), Chrysène (Chr), Dibenzo(a,h)anthracène (DahA) [5].

Un seul HAP gazeux est classé cancérigène de catégorie 2 par l'Union Européenne (substance suspectée d'être cancérigène pour l'homme) et en groupe 2B (potentiellement cancérigène chez l'homme) pour le CIRC: *Naphtalène (Naph* [5,6].

L'exposition professionnelle aux HAP concernerait près de 1,5 millions de salariés en France selon l'étude SUMER 2010, dont plus de 800 000 exposés aux émissions de moteur diesel [7].

Dans sa récente publication (15/09/2017) sur la prévention des risques liés aux gaz d'échappement, l'INRS notait les particules fines riches en HAPs particulières et listait les salariés des contrôles techniques dans les situations professionnelles entraînant une exposition [8].

Dans l'analyse des données métrologiques professionnelles en HAPs collectées sur 20 ans dans la base exporisq-HAP, l'exposition aux fumées de véhicules étaient notées pour les mécaniciens véhicules poids lourds et légers mais pas pour les techniciens de contrôle technique. Ces salariés mettant en régime élevé les moteurs thermiques dans le cadre des contrôles pollution, une exposition majorée a été suspectée [9].

Au vue des incertitudes persistantes sur l'exposition réelle des contrôleurs techniques aux HAPs, et notamment aux agents cancérigènes, nous avons décidé de réaliser une étude spécifique sur ce sujet.

Moyens et méthodes :

Un groupe de travail interne au service de santé au travail en Iroise a été créé en 2016. Il comprenait des médecins du travail, Ingénieur Hygiène Sécurité et environnement IHSE, Assistantes techniques en Prévention Santé Travail ATPST.

Nous avons recensé les entreprises de contrôles techniques adhérentes au service et établi la liste de leurs salariés déclarés.

En vue de la rédaction du protocole de l'étude, nous avons sollicité le support du service du Toxicologie Professionnelle et Environnementale de l'Institut de Biologie et Pathologie du CHU de Grenoble.

Les critères d'inclusion étaient :

- Salarié volontaire d'un centre de contrôle technique ayant accepté son inclusion dans l'étude
- Salarié non fumeur

La période d'inclusion s'est étendue du 01 mars au 30 avril 2017. Les responsables des entreprises ont été informés de l'étude un mois avant son début. S'ils acceptaient que leur centre soit inclus, nous avons sollicité leurs salariés pour les informer et obtenir leur consentement.

Méthodes :

Prélèvements atmosphériques

Les contrôleurs suivis lors des interventions étaient équipés d'une pompe de prélèvement atmosphérique équipée de deux supports (cassette et tube) pour analyse en chromatographie liquide haute performance (HPLC) avec une détection par fluorescence. Les prélèvements ont

été réalisés sur la totalité ou une durée représentative des postes de travail (coupure pendant la durée de la pause déjeuner).

Ont été mesurés sur les prélèvements 17 HAPs (le fluoranthène et le pyrène sont à la fois particulaires et gazeux) dont :

7 HAP présents sous forme gazeuse : Naphtalène (Naph), Acénaphène (Acen), Fluorène (Fluo), Phénanthrène (Phe), Anthracène (Ant), Fluoranthène (Flua), Pyrène (Pyr).

12 HAP présents sous forme particulaire : Fluoranthène (Flua), Pyrène (Pyr), Benzo(a)anthracène (BaA), Chrysène (Chr), Benzo(j)fluoranthène (BjF), Benzo(e)pyrène (BeP), Benzo(b)fluoranthène (BbF), Benzo(k)fluoranthène (BkF), Benzo(a)pyrène (BaP), Dibenzo(a,h)anthracène (DahA), Benzo(g,h,i)pérylène (BghiP) et Indéno(1,2,3,c,d)pyrène (IP).

En parallèle, une observation des activités des contrôleurs techniques lors des visites techniques a été réalisée

Une visite du centre avec questionnement sur le système de ventilation et de captage des gaz d'échappement à la source a également été réalisée en systématique. Ces visites étaient menées par un IHSE ou une ATPST.

Les analyses de ces prélèvements ont été réalisées dans le laboratoire du CHU de Grenoble. Les résultats sont exprimés en ng/m^3 pour chaque HAP quantifié (CMR ou non CMR), et en benzo(a)pyrène équivalent toxique (somme des HAP cancérogènes de l'Union Européenne pondérés par leur TEF (Toxic Equivalent Factor)).

- Biométrie

Seuls les salariés non-fumeurs ont été concernés, afin de pouvoir corréler le plus précisément possible les résultats avec l'exposition professionnelle.

Les prélèvements urinaires ont été réalisés de la manière suivante :

- à la fin du poste le 4ème jour de la semaine pour l'analyse du 1-OHP et des métabolites gazeux

- en fin de semaine, le lendemain, en début de poste (jour 4 fin de poste + 16heures) pour l'analyse du 3-OHBaP

Un infirmier ou médecin du service recueillait les urines sur le site de travail en respectant les recommandations du laboratoire d'analyse. Les analyses de ces prélèvements ont également été réalisées dans le laboratoire du CHU de Grenoble.

Les résultats métrologiques ont été communiqués de manière anonymisée aux employeurs. Pour les résultats biométrologiques, les salariés étaient convoqués de manière individuelle par le médecin du travail de l'entreprise qui leur remettait et expliquait les données.

Résultats :

La population incluse comporte 14 salariés de 9 entreprises. Ce sont exclusivement des hommes d'une moyenne d'âge de 41 ans, tous non-fumeurs. Tous les prélèvements atmosphériques et urinaires ont pu être analysés.

Les centres employaient de un à quatre salariés. Huit étaient ouvert vers l'extérieur, 4 avaient des extracteurs de gaz d'échappement.

93% des salariés bénéficiaient de gants de protection contre les risques mécaniques (7 nitriles, 3 latex, 2 cuir et un Polyuréthane), mais aucun n'avait à disposition des masques respiratoire.

Les activités observées comprenaient des contrôles périodiques (véhicules diesel et essence à peu près répartis de façon égale), des visites complémentaires et des contre-visites.

L'ensemble des résultats se trouvent dans les tableaux suivants.

Tableau 1 pour les Concentrations atmosphériques des HAPS sous forme particulaire en ng/m^3 , tableau 2 pour les Concentrations atmosphériques des HAPS sous forme gazeuse en ng/m^3 , tableau 3 pour les concentrations urinaires en 3-hydroxybenzo(a)pyrène et tableau 4 pour les autres résultats de biométrie. Le schéma 1 montre la proportion des principaux HAPS au sein des analyses atmosphériques.

Les moyennes des résultats sont sur la dernière ligne de chaque tableau.

Discussion :

Les analyses atmosphériques réalisées au sein des 9 centres de contrôle technique ont montrées que les concentrations atmosphériques individuelles d'HAP présents sous forme particulaire sont très faibles et très nettement inférieures à celles des HAPS présents sous forme gazeuse (facteur 100). Le mélange est donc représenté par 99 % d'HAPS sous forme gazeuse et 1% d'HAPS sous forme particulaire.

En ce qui concerne les HAPS Gazeux, les concentrations sont assez homogènes (facteur 1 à 4) comprises entre 173 et 759 ng/m^3 .

Nous n'avons pas noté de différence significative en fonction du nombre de véhicules entretenus (nombre de contrôles anti-pollution ni de la présence/absence d'un système d'extracteur).

Le naphthalène est la plupart du temps majoritaire au sein du mélange. Ces concentrations (150 à 695 ng/m³) sont très largement inférieures à la VLEP 8h du naphthalène (50 mg/m³ ou 50 000 000 ng/m³). Ceci est cohérent avec les analyses dans d'autres secteurs d'activité avec 50 à 90% de naphthalène dans les analyses atmosphériques [7].

Quant aux HAPs cancérigènes, ils sont en concentrations souvent indétectables et au maximum de 2,5 ng/m³. Le benzo(a)pyrène est retrouvé en concentrations extrêmement faibles et au maximum de 0,38 ng/m³, niveau très inférieur à la valeur maximale recommandée par la CNAM de 150 ng/m³ sur 8h [10].

Il ne nous a pas paru pertinent de calculer les concentrations de BaP_{eqT} dans la mesure où les niveaux d'HAP cancérigènes pris en compte dans le calcul étaient souvent indétectables, et que les niveaux de BaP chez les contrôleurs techniques étaient compris entre < 0,09 ng/m³ et 0,38 ng/m³ (soit 0,25% de la valeur CNAM).

Dans ces secteurs d'activité, les niveaux de BaP_{eqT} sont généralement augmentés de 30% par rapport au seul BaP [9]. Nous pourrions ainsi considérer que globalement les concentrations de BaP_{eqT} représentent 1,3 fois celles du BaP seul soit 0,49 au maximum.

Pour l'évaluation de l'imprégnation des salariés, nous avons choisis d'utiliser les deux composés pour lesquels il existe à ce jour une valeur biologique d'interprétation en milieu professionnel : le 1-hydroxypyrene (1-OHP), métabolite du pyrene (gazeux et particulaire) et le 3-hydroxybenzo(a)pyrene (3-OHBaP), métabolite du Benzo(a)pyrene.

Les modalités de recueil des urines (fin du poste le 4^{ème} jour de la semaine pour l'analyse du 1-OHP et des métabolites gazeux et fin de semaine, le lendemain, en début de poste (jour 4 fin de poste + 16heures) pour l'analyse du 3-OHBaP) respectant les récentes recommandations en terme de surveillance biologique des HAPs, l'inclusion de salariés non-fumeur uniquement, nous permettent de limiter les biais d'interprétation de ces valeurs [11,12].

Pour le 1-OHP, il existe une valeur américaine de l'ACGIH de 1.8 $\mu\text{g/g}$ de créatinine urinaire ajustée sur le ratio pyrène/BaP et une recommandation de valeur en milieu professionnel sur la base Biotox de l'INRS et issu d'un article récent ($< 1 \mu\text{mol/mol}$ créatinine) [13]. Il s'agit de la valeur maximale pour laquelle aucun effet génotoxique n'a pour l'instant été rapporté dans la littérature scientifique. L'ensemble des valeurs de notre étude y sont inférieures et même au tiers de cette recommandation. De même, si nous comparons à la VBI population générale allemande BAR DFG (0.3 $\mu\text{g/g}$ de créatinine urinaire ou 0,15 $\mu\text{mol/mol}$ créatinine) nous y sommes inférieur [14].

Pour le 3-OHBaP, la recommandation sur le site biotox est de 0,4 nmol/mol créatinine urinaire et correspond à la concentration susceptible d'être retrouvée en fin de semaine pour une personne exposée chaque jour dans l'air à une concentration de BaP de 150 ng/m³ (recommandation CNAM). Pour la population générale, Nikolova-Pavageau notait comme valeur de VBI disponibles, la valeur 90^{ème} percentile de l'étude de Lafontaine, soit 0,05 ng/g de créatinine chez les non-fumeurs et 0,14 pour les fumeurs [7]. Dans toutes nos analyses, le taux urinaire de 3-OHBaP est indétectable et donc largement en dessous de ses valeurs.

En ce qui concerne les métabolites des HAP présents sous forme gazeuse dans les fumées et émissions, naphthalène (1- et 2-naphtols), fluorène (1- 2- 3- 9-fluorénols) et phénanthrène (1-

2- 3- 4- 9-phénanthrols), nous ne disposons que de valeurs en population générale et non en milieu professionnel.

Toujours dans la revue de Nikolova-Pavageau, les auteurs notaient que l'utilisation du 95^{ème} percentile des valeurs des études NHANES et ECMS pouvaient être utiles comme valeur de VBI [7]. Les concentrations urinaires en métabolites gazeux des salariés inclus sont toutes également similaires à celles observables en population générale non fumeuse non exposée professionnellement, hormis pour 3 salariés dont les valeurs de 1-OH phénanthrène sont légèrement plus élevées indiquant une faible exposition professionnelle au phénanthrène pour l'un et sans corrélation avec l'activité pour les autres. Ces analyses biométriologiques sont considérées comme utiles et intéressantes pour confirmer l'exposition de salariés, justifier et vérifier l'efficacité des mesures de prévention [7].

Nikolova-Pavageau a également réalisée une revue bibliographique des données de surveillance biologique d'exposition professionnelle aux HAPs publiées entre 2008 et 2017. Ils ont ainsi eu la possibilité de réaliser un tableau par activités [7]. Il nous est difficile d'y comparer les données issues de notre étude car le secteur aux activités les plus proches de celle des salariés de contrôle technique serait la réparation, maintenance d'aéronefs, distribution de carburants. Mais, dans ces postes, le contact cutané aux HAPs est majoré dans la distribution de carburant. De plus, l'exposition professionnelle aux HAPs des activités de maintenance est soit à du kérosène, soit aux huiles et graisses de moteurs d'avions, mais non aux particules diesel et autres produits de combustion de carburants pour véhicules automobiles.

La faible population incluse est une des faiblesses de notre étude. Ceci rend difficile de conclure avec certitude.

En terme de recommandations pour le suivi en service de santé au travail des salariés de contrôle technique automobile, il ressort de notre étude qu'il est souhaitable de :

- Mieux informer et sensibiliser les salariés sur les moyens de protection individuelle et collective.
- Lors des visites en entreprise, l'efficacité des moyens de ventilation générale et les captations à la source des fumées d'échappement est à vérifier.
- Lors des visites médicales, la promotion du sevrage tabagique est à réaliser.
- Des mesures biométriologiques du 1-oh pyrène et 3-OHBaP urinaires en respectant les modalités de recueil des urines (fin du poste le 4ème jour de la semaine pour l'analyse du 1-OHP et des métabolites gazeux et fin de semaine, le lendemain, en début de poste (jour 4 fin de poste + 16heures) pour l'analyse du 3-OHBaP) sont à privilégier.
- Des données biométriologiques seront intéressantes après le renforcement du contrôle des émissions polluantes (test des "5 gaz").

Conclusion :

Nous retrouvons une faible exposition professionnelle aux HAPS présents dans les gaz d'échappement chez les contrôleurs techniques. C'est une exposition aux HAP présents sous forme gazeuse plus qu'aux HAP présents sous forme particulaire et les résultats biologiques sont cohérents avec les résultats atmosphériques.

Les valeurs relevées tant en métrologie qu'en biométriologie sont comparables avec celles de la population générale. Le risque sanitaire, notamment cancérigène, lié à l'exposition aux HAPs dans cette catégorie professionnelle ne semble donc pas supérieur à celui de la population générale.

Du fait de la cancérogénicité de certains HAP, il est recommandé de maintenir les mesures de prévention collective (système d'aspiration à la source des gaz d'échappement pendant les

contrôles anti-pollution), de prévention individuelle (gants), d'hygiène de nature à limiter l'absorption cutanée des HAP (lavage fréquent des mains). Cette étude permet d'avoir une meilleure connaissance des expositions aux HAP des contrôleurs techniques, avant le renforcement du contrôle des émissions polluantes (test des "5 gaz"). Ces premières analyses permettent d'adapter le suivi médical et d'avoir un point de comparaison possible avec de futures mesures atmosphériques et biométriologiques.

Références :

[1] Manoli E, Kouras A, Samara C. Profile analysis of ambient and source emitted particle-bound polycyclic aromatic hydrocarbons from three sites in northern Greece. *Chemosphere* 2004 Sep;56(9):867-78.

[2] Unvin J, Cocker J, Scobbie E, Chambers H. An assessment of occupational exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in the UK. *Ann Occup Hyg* 2006;50:395-403.

[3] Rota M, Bosetti C, Boccia S, Boffetta P, La Vecchia C. Occupational exposures to polycyclic aromatic hydrocarbons and respiratory and urinary tract cancers: an updated systematic review and a meta-analysis to 2014. *Arch Toxicol* 2014 Aug;88(8):1479-90. doi: 10.1007/s00204-014-1296-5. Epub 2014 Jun 17.

[4] Substance Details - Polycyclic organic matter - 16-PAH. USEPA 04 jan 2019. https://iaspub.epa.gov/sor_internet/registry/substreg/substance/details.do?displayPopup=&id=6012

[5] Polycyclic-aromatic hydrocarbons (PAH). Informations sur les substances. European Chemical Agency 2018. <https://echa.europa.eu/fr/substance-information/-/substanceinfo/100.239.209>

- [6] Naphtalène. Fiche toxicologique. INRS 2007.
http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_204
- [7] Nikolova-Pavageau N, Pillière F. Cartographie des expositions aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) par secteur d'activité : focus sur la surveillance biologique des expositions professionnelles. *Ref santé Travail* 2018 ;154 :41-63.
- [8] Courtois B, Sallé B, Ferreira M. Prévention des expositions liées aux émissions des moteurs thermiques. ED 6246 INRS 2016.
- [9] Maitre A, Petit P, Marques M, Hervé C, Montlevier S, Persoons R, Bicout DJ. Exporisq-HAP database: 20 years of monitoring French occupational exposure to polycyclic aromatic hydrocarbon mixtures and identification of exposure determinants. *Int J Hyg Environ Health* 2018 Mar;221(2):334-346. doi: 10.1016/j.ijheh.2017.12.008.
- [10] Valeurs limites d'exposition professionnelle établies pour les substances chimiques. INRS 2018. <http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil65>
- [11] Benzo[a]pyrène. Biotox INRS juillet 2018.
http://www.inrs.fr/publications/bdd/biotox/dosage.html?refINRS=Dosage_334
- [12] Barbeau D, Lutier S, Marques M, Persoons R, Maitre A. Comparison of gaseous polycyclic aromatic hydrocarbon metabolites according to their specificity as biomarkers of occupational exposure: Selection of 2-hydroxyfluorene and 2-hydroxyphenanthrene. *J Hazard Mater.*2017 Jun 15;332:185-194. doi: 10.1016/j.jhazmat.2017.03.011.
- [13] Siwińska E, Mielżyńska D, Kapka L Association between urinary 1-hydroxypyrene and genotoxic effects in coke oven workers. *Occup Environ Med.* 2004 Mar;61(3)

[14] Hydrocarbures aromatiques polycycliques. Biotox INRS juillet 2018.

http://www.inrs.fr/publications/bdd/biotox/dosage.html?refINRS=Dosage_151

Tableau1- Concentrations atmosphériques des HAPS particulières en ng/m³

Durée en min	Flua ng/m ³	Pyr ng/m ³	BaA ng/m ³	Chr ng/m ³	BjF ng/m ³	BeP ng/m ³	BbF ng/m ³	BkF ng/m ³	BaP ng/m ³	DAHa ng/m ³	BGHIp ng/m ³	Ip ng/m ³	Somme HAP particulières quantifiables ng/m ³	Sommes HAP Cancérogènes quantifiables ng/m ³
477	0,26	0,43	<sd	0,28	<sd	0,53	<sd	<sd	0,2	<sd	0,29	0,25	2,24	1,02
255	<sd	0,31	<sd	<sd	<sd	<sd	<sd	<sd	<sd	<sd	<sd	<sd	0,31	<sd
423	<sd	0,24	<sd	<sd	<sd	0,28	<sd	<sd	0,18	<sd	0,23	<sd	0,93	0,46
528	<sd	0,15	<sd	<sd	<sd	<sd	<sd	<sd	<sd	<sd	<sd	<sd	0,15	<sd
465	<sd	0,15	<sd	<sd	<sd	<sd	<sd	<sd	<sd	<sd	<sd	<sd	0,15	<sd
444	<sd	<sd	<sd	<sd	<sd	<sd	<sd	<sd	<sd	<sd	<sd	<sd	<,d	<sd
492	0,82	1,5	<sd	0,45	0,32	0,84	0,34	0,13	0,38	<sd	0,79	0,4	5,95	2,45
473	<sd	0,48	<sd	<sd	<sd	<sd	<sd	<sd	0,11	<sd	<sd	<sd	0,6	0,11
459	<sd	0,17	0,2	0,2	<sd	0,38	0,23	0,14	0,27	<sd	0,58	0,44	2,61	1,43
Moyenne	0,26	0,37	0,022	0,1	0,03	0,22	0,06	0,03	0,13	< sd	0,21	0,12	1,44	0,6
Médiane	0,54	0,275	0,2	0,24	0,32	0,455	0,285	0,135	0,2	< sd	0,435	0,4	0,765	1,02

Fluantrène (Flua), pyrène (Pyr) Benzo(a)anthracène (BaA), Chrysène (Chr), Benzo(j)fluoranthène (BjF), Benzo(e)pyrène (BeP), Benzo(b)fluoranthène (BbF), Benzo(k)fluoranthène (BkF), Benzo(a)pyrène (BaP), Dibenzo(a,h)anthracène (DahA), Benzo(g,h,i)pérylène (BghiP) et Indéno(1,2,3,c,d)pyrène (IP).

Durée en min	Naph ng/m ³	Acen ng/m ³	Fluo ng/m ³	Phe ng/m ³	Ant ng/m ³	Flua ng/m ³	Pyr ng/m ³	Somme HAP gazeux quantifiables ng/m ³
477	367,15	7,94	16,72	7,6	0,82	0	0,39	400,6
255	337,86	7,04	22,9	12,5	0,86	0,57	0,41	382,2
423	593,86	92,9	61,77	8,7	0,99	0	0,18	758,5
528	420	9,2	21,35	13,7	0,89	0,24	0,5	465,9
465	180,4	88,7	84,8	12,1	1,06	0	0,32	367,4
444	412	14,7	22,2	11,7	0,74	0,23	0,34	461,9
492	695,4	15,4	18,52	18,5	0,94	0,59	0,62	750
473	219,6	12,1	29,3	6,2	0,97	1,27	1,52	271
459	150,1	4,56	14,26	3,1	0,56	0,2	0,31	173,1
Moyenne	375,1	28,6	32,4	10,45	0,87	0,34	0,51	447,8
Médiane	367,1	12,1	22,2	11,7	0,89	0,23	0,39	400,6

Naphtalène (Naph), Acénaphène (Acen), Fluoranthène (Fluo), Phénanthrène (Phe), Anthracène (Ant), Fluoranthène (Flua), Pyrène (Pyr)

Tableau 2 Concentrations atmosphériques des HAPS gazeux en ng/m³

Créatinine g/l	1-OH P	1-OH	1-OH naphtol	1-OH fluorène	2-OH fluorène	3-OH fluorène	9-OH fluorène	1-oh phénantrène	2-OH phénantrène	3-OH phénantrène	4-OH phénantrène	9-OH phénantrène
2.26	0,02	0,24	3,52	<	<	0,11	0,09	0,15	0,04	0,03	<	<
1.88	0,04	0,91	4,36	0,1	0,15	0,19	<	0,1	0,03	<	<	<
2	0,04	0,18	5,5	0,05	0,08	0,13	0,15	0,61	<	<	<	<
1.4	0,03	0,25	4,78	<	<	0,04	0,15	0,49	<	<	<	<
0.9	0,09	0,24	7,38	<	<	0,08	<	0,1	<	<	<	<
2.39	0,01	<	1,01	0,03	0,11	0,07	<	<	<	<	<	<
1.02	0,13	0,38	1,82	<	<	0,07	<	0,51	0,07	<	<	<
1.6	0,05	0,14	4,9	<	<	0,15	<	<	<	<	<	<
0.96	0,05	0,13	1,14	<	<	0,07	0,17	0,16	<	<	<	<
1.99	0,04	0,09	0,9	<	0,08	0,13	0,09	0,09	0,03	0,04	<	<
1.5	0,03	0,1	4,19	<	<	0,07	<	<	<	<	<	<
1.3	0,06	0,33	1,38	<	<	0,06	<	0,23	<	0,04	<	<
1.66	0,03	61,57	5,53	0,04	0,1	0,06	<	0,24	<	<	<	<
1.65	0,02	0,08	8,57	<	<	0,05	<	0,07	<	<	<	<
2	0,03	0,08	4,49	0,015	0,037		0,08	0,2	0,01	0,007	<	<
Moyenne	0,05	5,4	4,6	0,02	0,044	0,1	0,05	0,24	0,014	0,01	<	<

Tableau 3. Concentrations urinaires du 1-hydroxypyrene et des métabolites gazeux en µmol/ mol de créatinine

1OHP : 1-hydroxypyrene, < inférieur au seuil de détection du laboratoire

Tableau 4. Concentrations urinaires de 3 hydroxy-benzo-a-pyrène en nmol/ mol de créatinine

Créatinine g/l	3 Oh BaP
1.3	< Sd
2.15	< Sd
1.33	<v
0.89	< Sd
1.78	< Sd
2.36	< Sd
0.7	< Sd
1.89	< Sd
2.43	< Sd
2.53	< Sd
3	< Sd
2.01	< Sd
2.39	< Sd
1.66	< Sd

< Sd

: inférieur au seuil de détection