

SANTÉ
ENVIRONNEMENT

JUIN 2023

ÉTUDES ET ENQUÊTES

IMPRÉGNATION DE LA POPULATION FRANÇAISE
PAR LES HYDROCARBURES AROMATIQUES
POLYCYCLIQUES

Programme national de biosurveillance, Esteban 2014-2016

Résumé

Imprégnation de la population française par les hydrocarbures aromatiques polycycliques

Programme national de biosurveillance, Esteban 2014-2016

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont des composés toxiques de l'environnement, produits de manière naturelle ou anthropique. Ils sont générés principalement lors de la combustion incomplète de matières organiques ou par pyrolyse. Ils sont impliqués directement ou indirectement dans la survenue et/ou l'aggravation de cancers et des maladies cardiovasculaires constituant ainsi une priorité en termes de santé publique. Du fait de leur omniprésence dans l'environnement et dans les aliments, de leur présence généralement sous forme de mélanges complexes, de leur cancérogénicité, immunotoxicité et du caractère reprotoxique et tératogène de certaines molécules de HAP, ils nécessitent d'être surveillés.

Le 3-hydroxybenzo[a]pyrène a été classé par le Circ (Centre international de recherche sur le cancer) cancérogène certain (groupe 1), les molécules de naphthalène, de chrysène et d'anthracène sont possiblement cancérogène (groupe 2B). Le cyclopenta(c,d)pyrène, le dibenzo(a,h)anthracène et le dibenzo(a,l)pyrène sont classés substances probablement cancérigène (groupe 2A).

En France, en l'état des connaissances actuelles, il n'existe pas d'étude en population générale ayant mesuré les niveaux d'imprégnation de la population. Toutefois, des études réalisées en milieu professionnel ont permis de connaître les niveaux biologiques des travailleurs dans certains domaines exposant aux HAP [1]. Pour la première fois, l'étude transversale Esteban (Étude de Santé sur l'Environnement, la Biosurveillance, l'Activité physique et la Nutrition) a permis de mesurer les niveaux d'imprégnation par les HAP de la population générale en France continentale âgée de 6 à 74 ans sur un sous-échantillon de 398 enfants et 1 099 adultes, entre avril 2014 et mars 2016.

Les HAP mesurés en population générale (adultes, enfants) dans le cadre de l'étude Esteban étaient soit non quantifiés ou très peu quantifiés (chrysènes, anthracènes, fluoranthène et 3-hydroxybenzo[a]pyrène) ; soit très bien quantifiés (%>LOQ entre 80 et 100 %) : 1-hydroxypyrene, naphthalènes, fluorènes et phénanthrènes. Une comparaison avec les études similaires étrangères montrait que les niveaux d'imprégnation par les phénanthrènes en France en 2014-2016 en population générale chez les enfants étaient inférieurs à ceux observés en Allemagne.

La recherche des déterminants a confirmé les facteurs déjà connus dans la littérature.

Chez les enfants, une tendance à l'augmentation des concentrations en naphthalène avec l'utilisation de l'encens et une augmentation des niveaux d'imprégnation par le 1-hydroxypyrene chez ceux qui aèrent le moins leur logement étaient observées. Chez les adultes, la consommation de cigarettes était un déterminant majeur de l'imprégnation par les HAP. Chez les fumeurs, une augmentation des concentrations était observée en phénanthrènes (+95 %), en 1-hydroxypyrene (+145 %), en naphthalènes (+249 %) et en fluorènes (+261 %) par rapport aux adultes non-fumeurs et non exposés au tabagisme passif. Une différence des niveaux d'imprégnation par le 1-hydroxypyrene, les naphthalènes et les phénanthrènes était observée selon le sexe : les hommes étaient moins imprégnés (diminution de 14 à 30 %) que les femmes. Chez les adultes, une diminution selon le niveau de diplôme était aussi observée pour l'ensemble des familles de HAP analysées, les plus diplômés étaient moins imprégnés. Les facteurs alimentaires retrouvés étaient : une augmentation des niveaux d'imprégnation par le 1-hydroxypyrene, les fluorènes et les phénanthrènes avec la consommation de matières grasses (huile, beurre, margarines) ; une tendance à l'augmentation des niveaux d'imprégnation par les naphthalènes avec la consommation de viennoiseries et la consommation de viandes et enfin une tendance à l'augmentation des concentrations urinaires des fluorènes avec la consommation de charcuterie.

Les résultats de l'étude Esteban fournissent pour la première fois les niveaux d'imprégnation par les HAP de la population vivant en France continentale entre 2014 et 2016 et permettent d'établir les premières valeurs de référence d'exposition (VRE). Ils mettent en lumière la forte influence du tabagisme sur les niveaux d'imprégnation par les HAP chez les adultes. Ces résultats pourraient aussi être utilisés pour objectiver l'effet des décisions de santé publique, notamment dans la poursuite des efforts de lutte contre le tabagisme.

MOTS CLÉS : BIOSURVEILLANCE ; ESTEBAN ; IMPRÉGNATION ; EXPOSITION ; SUBSTANCES CHIMIQUES ; ENVIRONNEMENT ; POPULATION GÉNÉRALE ; HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES, HAP ; URINES ; DÉTERMINANTS ; ENFANTS, BIOMARQUEURS, VALEURS DE RÉFÉRENCE D'EXPOSITION (VRE)

Citation suggérée : Imprégnation de la population française par les hydrocarbures aromatiques polycycliques. Programme national de biosurveillance, Esteban 2014-2016. Saint-Maurice : Santé publique France, 2023. 88 p.
Disponible à partir de l'URL : www.santepubliquefrance.fr

ISSN : 2609-2174 / ISBN-NET : 979-10-289-0845-4 / RÉALISÉ PAR LA DIRECTION DE LA COMMUNICATION,
SANTÉ PUBLIQUE FRANCE / DÉPÔT LÉGAL : JUIN 2023

Abstract

Impregnation of the French population by polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH)

National human Biomonitoring Program, Esteban 2014-2016

Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) are toxic compounds in the environment, produced naturally or by human activity. They are mainly generated during the incomplete combustion of organic materials or by pyrolysis. They are directly or indirectly involved in the occurrence and/or aggravation of cancers and cardiovascular diseases, thus constituting a priority in terms of public health. Because of their omnipresence in the environment and in food, their presence generally in the form of complex mixtures, their carcinogenicity, immunotoxicity and the reprotoxic and teratogenic character of certain PAH molecules, they need to be monitored.

The 3-hydroxybenzo[a]pyrene has been classified by the IARC (International Agency for Research on Cancer) as a definite carcinogen (group 1), and the naphthalene, chrysene and anthracene molecules are possibly carcinogenic (group 2B). Cyclopenta(c,d)pyrene, dibenzo(a,h)anthracene and dibenzo(a,l)pyrene are classified as probable carcinogens (group 2A).

In France, in the current state of knowledge, there is no study in general population which measured the levels of impregnation of the French population. However, studies carried out in the workplace have provided information on the biological levels of workers in certain areas exposed to PAHs [1]. For the first time, the cross-sectional study Esteban (Health Study on the Environment, Biomonitoring, Physical Activity and Nutrition) measured PAH impregnation levels in the general population in continental France aged 6 to 74 years on a subsample of 398 children and 1099 adults, between April 2014 and March 2016.

The PAHs measured in the general population (adults, children) in the Esteban study were either not quantified or very poorly quantified: such as chrysenes, anthracenes, fluoranthene and 3-hydroxybenzo[a]pyrene ; or very well quantified ($\% > \text{LOQ}$ between 80 and 100%), such as 1-hydroxypyrene, naphthalenes, fluorenes and phenanthrene. A comparison with similar foreign studies showed that the levels of phenanthrene impregnation in France in 2014-2016 in the general population among children were lower than those observed in Germany.

The search for the determinants of exposure confirmed the factors already known in the literature. In children, a tendency to increase naphthalene concentrations with the use of incense and an increase in 1-hydroxypyrene impregnation levels in those who aired their homes the least were observed. Among adults, cigarette smoking was a major determinant of PAH impregnation. In smokers, increased concentrations were observed in phenanthrene (+95%), 1-hydroxypyrene (+145%), naphthalenes (+249%) and fluorenes (+261%) compared to non-smoking adults not exposed to passive smoking. A difference in the levels of 1-hydroxypyrene, naphthalenes and phenanthrene impregnation was observed according to sex: men were less impregnated (14 to 30% decrease). In adults, a decrease according to the level of education was also observed for all the PAH families analyzed, the most educated being less impregnated. The dietary factors found were an increase in the levels of impregnation by 1-hydroxypyrene, fluorenes and phenanthrenes with the consumption of fats (oil, butter, margarines) ; a tendency to increase the levels of impregnation by naphthalenes with the consumption of pastries and meat and finally a tendency to increase the urinary concentrations of fluorenes with the consumption of cold cuts.

The results of the Esteban study provide, for the first time, PAH impregnation levels in the population living in continental France between 2014 and 2016 and allow the first exposure reference values (ERVs) to be established. They highlight the strong influence of smoking on PAH impregnation levels in adults. These results could also be used to objectify public health decisions, particularly in the pursuit of efforts to control smoking, given the harmful effects of PAHs on health.

KEY WORDS: BIOMONITORING ; ESTEBAN ; IMPREGNATION ; EXPOSURE ; CHEMICAL SUBSTANCES ; ENVIRONMENT ; GENERAL POPULATION ; POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS PAH ; DETERMINANTS ; CHILDREN, URINES, BIOMARKERS, EXPOSURE REFERENCE VALUE (ERVS)

Auteurs

Amivi Oleko¹, Clémence Filloi¹, Abdessattar Saoudi², Abdelkrim Zeghnoun², Jessica Gane², Anita Balestier¹, Romuald Tagne-Fotso¹

¹ Santé publique France, Direction santé environnement travail, Saint-Maurice, France

² Santé publique France, Direction appui, traitements et analyses des données, Saint-Maurice, France

L'étude a été réalisée avec la participation des ministères des Solidarités et de la Santé et de la Transition écologique et solidaire, des Centres d'examens de santé de l'Assurance Maladie et du Cetaf (Centre technique d'appui et de formation des centres d'examen de santé).

Sommaire

Résumé	1
Abstract	3
Auteurs	4
INTRODUCTION	7
1. GÉNÉRALITÉS SUR LES HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES	8
1.1 Caractérisation, utilisations et réglementations	8
<i>Caractérisation générale et utilisations</i>	8
<i>Règlementations</i>	9
1.2 Exposition de la population aux HAP	10
<i>Les expositions alimentaires</i>	10
<i>Les expositions environnementales</i>	10
<i>Les expositions professionnelles aux HAP</i>	11
<i>L'exposition au tabac</i>	11
<i>Exposition par voie cutanée</i>	11
<i>Les autres sources d'exposition : exposition in utero</i>	12
1.3 Devenir dans l'organisme	12
<i>Absorption et distribution et métabolisation</i>	12
<i>Élimination - Excrétion</i>	12
1.4 Effets sanitaires	13
1.5 Mesure et interprétation des niveaux biologiques des hydrocarbures aromatiques polycycliques	13
2. MATÉRIEL ET MÉTHODES	15
2.1 Contexte du programme national de biosurveillance et de l'étude Esteban	15
2.2 Les objectifs	15
2.3 Population	15
2.4 Recueil des données	16
2.5 Collecte et traitement des échantillons biologiques d'urines	16
2.6 Dosage des hydrocarbures aromatiques polycycliques et de la créatinine urinaire	17
<i>Dosage des HAP urinaires</i>	17
<i>Dosage de la créatinine urinaire</i>	19
2.7 Analyses statistiques	19
<i>Plan de sondage et pondérations</i>	19
<i>Traitement des données manquantes et censurées à gauche</i>	20
<i>Prise en compte de la dilution urinaire</i>	20
<i>Description des niveaux d'imprégnation</i>	20
<i>Recherche des déterminants des niveaux d'imprégnation</i>	20
<i>Logiciels utilisés</i>	21
3. RÉSULTATS DES ANALYSES DESCRIPTIVES DE L'IMPRÉGNATION PAR LES HAP CHEZ LES ENFANTS	22
3.1 Résultats des dosages chez les enfants	22
<i>Niveaux de la créatinine et des HAP dans les urines</i>	22
<i>Caractéristiques des participants présentant des niveaux élevés et comparaison des valeurs seuils</i>	26
3.2 Niveaux d'imprégnation par les HAP mesurés dans les études antérieures chez les enfants	26
<i>Études conduites en France</i>	26
<i>Études conduites à l'étranger</i>	26

4. RECHERCHE DES DÉTERMINANTS DES CONCENTRATIONS EN HAP DANS LES URINES CHEZ LES ENFANTS	31
5. RÉSULTATS DES ANALYSES DESCRIPTIVES DES NIVEAUX D'IMPRÉGNATION PAR LES HAP CHEZ LES ADULTES	34
5.1 Résultats du dosage chez les adultes	34
<i>Niveaux de la créatinine urinaire et d'imprégnation par les HAP chez les adultes</i>	34
<i>Niveaux élevés : comparaisons des valeurs seuils chez les adultes</i>	38
5.2 Niveaux d'imprégnation par les HAP mesurés dans les études antérieures chez les adultes	38
<i>Études conduites en France</i>	38
<i>Études conduites à l'étranger</i>	39
6. RECHERCHE DES DÉTERMINANTS DES CONCENTRATIONS EN HAP DANS LES URINES CHEZ LES ADULTES	43
7. DISCUSSION	47
8. VALEURS DE RÉFÉRENCE D'EXPOSITION (VRE) À PARTIR DES RÉSULTATS DE L'IMPRÉGNATION PAR LES HAP DE L'ÉTUDE ESTEBAN	50
8.1 Méthodologie	50
8.2 Valeurs de références à partir des données de l'étude Esteban	50
9. CONCLUSION	54
Annexe 1. Distribution des concentrations urinaires en HAP en ng. L ⁻¹ et ng. g ⁻¹ des enfants âgés de 6 à 17 ans, par classe d'âge et par sexe, France continentale, Esteban 2014-2016	55
Annexe 2. Distribution des concentrations urinaires en HAP en ng. L ⁻¹ et ng. g ⁻¹ des adultes âgés de 18 à 74 ans, par classe d'âge, sexe et selon le statut tabagique, France continentale, Esteban 2014-2016	69
Annexe 3. Liste des variables testées dans les modèles d'analyses statistiques (enfants et adultes)	83
Références	84

INTRODUCTION

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont une classe de micropolluants organiques très répandus et ubiquitaires, à large spectre ayant des effets cancérigènes, tératogènes, mutagènes et de perturbateurs endocriniens [2, 3]. Seize HAP figurent sur la liste des « polluants prioritaires » établie par l'Environmental Protection Agency des États-Unis (US-EPA) depuis les années 1970 [4, 5] en raison de leur toxicité potentielle pour la santé humaine et du fait de leur prépondérance dans les mélanges. Un certain nombre de HAP et leurs dérivés sont considérés pour les humains comme cancérogènes certains tel que le benzo[a]pyrène [6], probablement cancérogènes tel que le dibenzo[a,h]anthracène et potentiellement cancérogènes tel que le chrysène par le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC). D'autres effets sur la santé humaine sont décrits : effets cardiovasculaires, reprotoxiques ou immunosuppresseurs.

Les HAP sont principalement générés pendant la combustion incomplète des matières organiques. Ils peuvent avoir une origine naturelle (feux de forêts, éruptions volcaniques). Lipophiles, les HAP peuvent s'accumuler dans la chaîne alimentaire et contaminer l'homme par l'ingestion d'aliments comme le poisson, la viande, les œufs ou les produits laitiers. L'homme est généralement exposé à des mélanges de HAP et non à un seul HAP puisque les HAP sont généralement présents sous forme de mélanges complexes. Les HAP présents dans l'environnement sont majoritairement d'origine anthropique.

En France, il n'existe pas d'études en population générale portant sur les niveaux d'imprégnation par les HAP. L'étude transversale Esteban a permis pour la première fois de disposer d'une distribution des concentrations en HAP urinaire sur un échantillon aléatoire de 398 enfants âgés de 6 à 17 ans et de 1 099 adultes âgés de 18 à 74 ans et d'effectuer une comparaison avec les niveaux d'imprégnation dans les études réalisées à l'étranger.

Après un rappel des généralités sur les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), ses principales sources d'exposition et les effets de cette exposition sur la santé (1), ce document présente la méthode mise en œuvre pour la collecte des données et leur analyse (2), puis les résultats descriptifs des niveaux d'imprégnation par les métabolites des HAP observés dans le cadre de l'étude Esteban (3) et enfin les résultats de la recherche des déterminants de l'exposition aux différentes familles de HAP (celles dont les taux de quantification étaient suffisamment élevés : supérieurs à 60 %) dans les deux populations cibles : enfants et adultes (4).

1. GÉNÉRALITÉS SUR LES HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES

Les HAP sont généralement solides et peu volatils à température ambiante. Ils sont relativement peu solubles dans l'eau et la plupart d'entre eux sont dégradés dans l'environnement par photo-oxydation.

1.1 Caractérisation, utilisations et réglementations

Caractérisation générale et utilisations

Le phénanthrène présent dans l'huile d'anthracène obtenue par distillation du goudron de houille est utilisé dans la productions de colorants, d'explosifs et de produits pharmaceutiques. Il sert de base pour la production d'autres substances chimiques et entre dans la composition de substances conductrices d'électricité utilisées dans les batteries ou les cellules solaires. Il est produit lors de la combustion du bois ou du charbon, on le retrouve également dans la fumée de tabac, les échappements de moteur diesel ou essence, dans les viandes grillées au charbon de bois (barbecue) et dans les huiles moteur usagées [7].

Le pyrène est présent dans les combustibles fossiles. Il est libéré dans l'atmosphère lors de la combustion incomplète de charbon et de produits pétroliers : huile, essence, fioul. Des concentrations de 19,2 ng.m⁻³ et 35,1 ng.m⁻³ ont été mesurées respectivement dans les gaz d'échappement de véhicules essence et diesel [8]. Le pyrène est également présent dans le goudron des revêtements routiers [9]. La production d'aluminium, de fer et d'acier, les fonderies, la combustion de déchets et la fumée de tabac constituent également des sources d'exposition environnementale au pyrène [10].

Le goudron de charbon contient en moyenne 2 % de pyrène. Le pyrène, outre ses applications en recherche, est utilisé pour la fabrication de teintures, dans la synthèse de substances utilisées en optique pour leur brillance, et comme additif dans les huiles d'isolation électrique.

Le benzo(a)pyrène est également synthétisé par des plantes, des bactéries et des algues.

Le chrysène est présent à des concentrations plus élevées que la plupart des autres HAP dans les combustibles fossiles tels que l'huile brute et le lignite. Le chrysène est formé avec d'autres HAP lors de la distillation du charbon et de la distillation ou de la pyrolyse de graisses et d'huiles. Il est présent à des concentrations plus élevées que la plupart des autres HAP dans les combustibles fossiles tels que l'huile brute et le lignite. Il fait partie des HAP prédominants dans les émissions particulières provenant des incinérateurs d'ordures ménagères, des appareils ménagers à gaz naturel et des dispositifs de chauffage domestique, en particulier ceux utilisant la combustion du bois [11].

Le fluorène est un intermédiaire chimique utilisé dans divers procédés de fabrication de résines et dans la production de teintures. Il est également employé pour la production de dérivés servant à fabriquer des médicaments antidiabétiques et antiarythmiques. Le fluorène ne fait pas l'objet de restrictions d'usage particulières. Il est présent dans les combustibles fossiles et est libéré lors de combustion (huile, essences, fioul, charbon de bois, cigarette.), dans les émissions d'incinérateurs d'ordures ménagères et de raffineries de pétrole. Il est présent dans les goudrons des routes [12].

Le fluoranthène a été identifié comme substance PBT (persistant, bioaccumulable et toxique) et vPvB (très persistant et très bioaccumulable) et est considéré pour cette raison comme une substance extrêmement préoccupante (SVHC, inscrit le 15 janvier 2019, annexe XIV de REACH). Quelques HAP, dont le fluoranthène, sont produits à des fins industrielles. Il fait partie des principaux

constituants des goudrons lourds issus du charbon [13]. Il est obtenu par distillation à haute température d'huile d'anthracène ou de brai. Il est également formé lors de la combustion incomplète du bois et du fioul. Il a été utilisé par le passé en revêtement de protection pour l'intérieur des cuves et des tuyaux en acier servant au stockage et à la distribution d'eau potable ou comme intermédiaire dans la fabrication de teintures, notamment de teintures fluorescentes et dans la fabrication des huiles diélectriques et comme stabilisant pour les colles [14].

Le naphtalène se présente sous diverses formes solides (cristaux, poudre, aiguilles ou écailles), de couleur blanche et d'odeur caractéristique de goudron. Il se sublime à température ambiante. Le naphtalène est un constituant du goudron de houille (11 %) et du pétrole brut (1,3 %). Il est produit à partir de goudron de houille ou de pétrole. Le naphtalène est principalement utilisé comme intermédiaire de synthèse dans la fabrication d'anhydride phtalique (plus de 60 % de la production) servant à produire des phthalates, plastifiants, résines, teintures, répulsifs pour insectes (insecticides) etc... Il est également utilisé dans la fabrication de produits destinés au tannage du cuir et entre dans la composition d'agents tensio-actifs (sulfonates de naphtalène et dérivés utilisés comme dispersants ou agents mouillants en peinture, teinture et formulation de papier d'emballage) [15]. Le naphtalène est également utilisé comme répulsif pour les mites (boules de naphtaline antimites). Il est utilisé en pyrotechnie pour réaliser des effets spéciaux au cinéma, ainsi que dans les meules abrasives.

Sa présence dans l'environnement est essentiellement liée à une pyrolyse incomplète.

Règlementations

Les restrictions d'usage et les principaux textes réglementaires concernant les HAP notamment le phénanthrène et le pyrène sont les suivants :

Les HAP sont inscrits sur la Liste OSPAR¹ de produits chimiques potentiellement préoccupants (LCPC) devant faire l'objet de mesures prioritaires.

- Directive n° 2004/107/CE du 15 décembre 2004 concernant l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant.
- Règlement (UE) n° 835/2011 de la commission du 19 août 2011 modifiant le règlement (CE) n° 1881/2006 en ce qui concerne les teneurs maximales pour les HAP dans les denrées alimentaires
- Règlement UE 1272/2013 relatif aux HAP dans les articles destinés à la vente au grand public (pneus, caoutchouc, plastiques, articles de puériculture, ...)
- Règlement (UE) n° 1327/2014 de la Commission du 12 décembre 2014 modifiant le règlement (CE) n° 1881/2006 en ce qui concerne les teneurs maximales en hydrocarbures aromatiques polycycliques dans les viandes, produits de viande, poissons et produits de la pêche fumés de façon traditionnelle.
- Le phénanthrène fait partie de la liste des substances pertinentes à surveiller (SPAS) dans les eaux de surface et les sédiments (Annexe II de l'arrêté du 7 août 2015 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 établissant le programme de surveillance de l'état des eaux).
- Règlement (UE) 2015/1933 de la Commission du 27 octobre 2015 modifiant le règlement (CE) n° 1881/2006 en ce qui concerne les teneurs maximales en HAP dans la fibre de cacao, les chips de banane, les compléments alimentaires, les herbes séchées et les épices séchées.
- Directive 2016/2284/UE relative à la restriction des émissions nationales de certains polluants atmosphériques entrée en vigueur le 31 décembre 2016
- Le pyrène fait partie de la liste de l'Annexe II de l'arrêté du 17 octobre 2018 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 établissant le programme de surveillance de l'état des eaux.

¹ Convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord-Est ou Convention OSPAR (OSPAR pour Oslo-Paris).

- Le fluoranthène, substance prioritaire pour la politique dans le domaine de l'eau (directive 2013/39/UE), fait partie de la liste des substances de l'état chimique des eaux de surface (arrêté du 17 octobre 2018 et arrêté du 27 juillet 2018)
- Le phénanthrène, le fluoranthène, le benzo[k]fluoranthène et le 2,2-bis(4'-hydroxyphenyl)-4-méthylpentane ont été rajoutés à la liste des substances extrêmement préoccupantes (SVHC, Helsinki, 15 janvier 2019)

Par ailleurs en France, le Haut conseil de la santé publique (HCSP) en 2012 suite à une saisine de la Direction générale de la santé (DGS) recommande deux valeurs de gestion pour la pollution de l'air intérieur par le naphthalène dans les immeubles d'habitation : une valeur repère de qualité d'air intérieur (VR) et une valeur d'action rapide (VAR), considérant le naphthalène pour sa toxicité propre et comme indicateur de la présence de sources d'émission de multiples polluants nocifs

1.2 Exposition de la population aux HAP

L'exposition des populations peut se faire via l'air, l'eau, le sol, la nourriture et même les produits pharmaceutiques (traitement local du psoriasis avec des produits à base de goudron de houille).

Les expositions alimentaires

Malgré les nombreuses sources d'expositions aux HAP, la voie majoritaire d'exposition aux HAP pour un non-fumeur selon l'EFSA est l'alimentation.

Dans la deuxième étude de l'alimentation totale française, EAT2 [16], les plus fortes teneurs moyennes en HAP² sont retrouvées dans les crustacés et mollusques, l'huile et la margarine. Les contributeurs majoritaires pour les adultes sont les matières grasses (huile et margarine), le pain et les produits de panification sèche ainsi que les crustacés et mollusques. Pour les enfants, les contributeurs majoritaires sont les produits céréaliers (pain, biscuits, pâtisseries et gâteaux) et les matières grasses (huile notamment). Les crustacés et mollusques n'apparaissent plus en tant que contributeurs majoritaires en raison d'une faible consommation de ces produits par les enfants.

Vingt HAP ont été recherchés dans l'EAT2. Les HAP sont détectés de façon très variable selon le congénère considéré, dans 0 à 19 % des analyses (2 500 au total). Les résultats ont montré une diminution générale de plus de moitié de l'exposition alimentaire à 6 des HAP⁴, par rapport à l'estimation de l'Anses réalisée en 2003, sur la base des données de consommation d'INCA1 et des données des plans de surveillance. Ces résultats indiquent que le risque lié à l'exposition aux HAP (hors pratiques particulières comme la cuisson au barbecue) peut être écarté pour la population générale, hormis pour certains HAP comme le benzo[a]pyrène cancérigène certain, génotoxique sans seuil d'effet pour lequel le risque ne peut être considéré comme nul [16].

Les expositions environnementales

L'exposition environnementale de la population aux HAP passe par une pollution urbaine via les émissions industrielles, les émissions de voiture à diesel ou d'incinérateurs (OM) ou de chauffage urbain ; une pollution domestique via la fumée de tabac, l'alimentation (aliments grillés ou fumés), le chauffage au bois, et enfin par les sources naturelles via les feux de forêts ou les volcans. Les HAP sont également émis par les ordinateurs. Le naphthalène et le phénanthrène gazeux sont les composés dominants dans l'environnement intérieur [17].

² Benzo[a]anthracène, benzo[b+j]fluoranthène, benzo[k]fluoranthène, benzo[ghi]perylène, benzo[a]pyrène, dibenzo[a,h]anthracène

Les expositions professionnelles aux HAP

En milieu professionnel, la principale voie d'exposition est respiratoire. L'exposition professionnelle aux HAP concernerait un nombre important de salariés en France plaçant ainsi les HAP en tête des composés responsables de cancers professionnels. Les principales industries émettrices de quantités importantes d'HAP sont caractérisées par des procédés utilisant des produits dérivés de la houille : goudron et brai de houille. Ces industries sont les suivantes :

- les cokeries produisant du coke à partir de distillation de la houille,
- la sidérurgie par l'utilisation du coke,
- la production d'électrodes en carbone à partir du brai,
- l'électrolyse de l'aluminium et production de silicium principalement par l'utilisation d'électrodes composées de brai de houille, mais également de pâte de brai nécessaire à la réfection des fours,
- l'imprégnation du bois avec l'utilisation de créosote,
- la fonderie de fer et d'acier.

Dans les secteurs utilisant des produits dérivés du pétrole, les niveaux d'HAP sont beaucoup plus faibles :

- la fabrication de pneus à travers l'utilisation de noir de carbone entrant dans la fabrication du caoutchouc,
- les industries pétrochimiques et les industries du bitume et goudron,
- la mécanique avec l'utilisation d'huiles et de graisses.

Une étude de surveillance biologique des expositions professionnelles aux HAP [1] a été réalisée dans les entreprises française de l'électrolyse de l'aluminium et de la production d'électrodes de carbone et a montré des niveaux inférieurs aux valeurs recommandées mais avec une variabilité selon le poste.

Les études épidémiologiques relatives à l'exposition professionnelle aux HAP ont mis en évidence un risque accru de survenue de cancers de poumons chez les travailleurs exposés aux fumées de goudrons ou chez les ouvriers de cokeries, de cancers cutanés liés aux travaux de la gazéification du charbon ou à la distillation de la houille et de cancers de la vessie chez les travailleurs des unités de production d'aluminium³.

L'exposition au tabac

Le tabagisme augmente considérablement les concentrations urinaires des métabolites, des naphthols et des pyrénols (1-hydroxypyrene) principalement mais également des hydroxyfluorènes et du 3-hydroxybenzo[a]pyrène. Selon les études et les marques de cigarettes, la fumée principale peut contenir entre 118,1 et 2 599 ng/cigarette de HAP totaux dont 1,9 à 36,3 ng/cigarette de benzo[a]pyrène [18-20]. Selon l'EFSA, un individu fumant 20 cigarettes, est exposé à 105 ng par jour de benzo[a]pyrène, soit 5,25 ng par cigarette.

Exposition par voie cutanée

La principale exposition des HAP par voie cutanée est liée au milieu professionnel. Certaines professions et activités industrielles telles que les pompiers, les industries de la cokerie, de l'aluminium, du raffinage du pétrole et la pose de bitumes, ont été associées à l'exposition aux HAP par voie cutanée [21, 22]. L'exposition se fait par contact avec des vêtements ou des outils contaminés mais également par contact cutané direct et par l'exposition aux aérosols.

³Tableaux 16bis et 36bis des maladies professionnelles.

Les autres sources d'exposition : Exposition *in utero*

L'exposition *in utero* aux HAP peut entraîner des malformations fœtales et l'apparition de pathologies chez l'enfant. En effet, le B[a]P est connu pour traverser la barrière placentaire quel que soit le mode d'exposition et ainsi atteindre le fœtus [23, 24]. Une exposition *in utero* aux HAP induit une diminution de la taille et du poids de naissance [25]. L'exposition professionnelle de la mère aux HAP a été associée à un risque accru de gastroschisis et de fente labiale chez l'enfant [26]. De plus, les HAP sont suspectés d'induire une craniosynostose et auraient des effets néfastes sur le développement cognitif des enfants dès l'âge de 5 ans, dont une diminution de 3,8 points de quotient intellectuel (QI) [27-29].

1.3 Devenir dans l'organisme

Absorption et distribution et métabolisation

Les HAP sont biotransformés au niveau du foie de façon importante (cytochrome P 450) en différents (poly)-hydroxy-HAP secondairement glucuro ou sulfoconjugués. L'élimination est variable en fonction des voies d'absorption : principalement dans les fèces après ingestion (80 – 90 %) et dans les urines (15 à 20 %) après absorption cutanée et/ou digestive.

L'absorption du pyrène par inhalation a été bien documentée chez l'homme, le 1-hydroxypyrene urinaire étant un indicateur de l'exposition au pyrène, présent dans la plupart des mélanges de HAP. L'absorption par voie cutanée du pyrène a été montrée à partir d'une application de goudrons de houille. Dans le cadre d'une exposition environnementale à des mélanges de HAP, le pyrène a été détecté dans le lait maternel, le placenta et le cordon ombilical mais également dans le tissu adipeux [24, 30, 31].

Le naphthalène se distribue dans les tissus graisseux et passe dans le lait maternel. La métabolisation hépatique par les cytochromes P450 induit des métabolites : le 1-naphtol, le 2-naphtol, les 1,2- ou 1,4- naphtoquinones après formation d'époxydes intermédiaires réactifs [15].

Élimination - Excrétion

L'excrétion urinaire du 1-hydroxypyrene serait triphasique, avec des demi-vies d'élimination de 5 heures, 22 heures et 17 jours. Il peut y avoir accumulation avec un plateau atteint vers la 4e semaine.

Le benzo(a)pyrène (B[a]P) et ses métabolites sont principalement éliminés dans les fèces (70 à 75 %). Seuls 4 à 12 % sont éliminés par voie urinaire. L'élimination urinaire se fait à 80 % sous la forme de métabolites (métabolites polaires et dérivés phénoliques) et très faiblement sous la forme de benzo(a)pyrène non métabolisé [32]. Une faible fraction du benzo[a]pyrène (< 1 %) est éliminée sous forme de 3-hydroxybenzo[a]pyrène. Sa demi-vie urinaire est d'environ 9 heures. On peut estimer que la concentration de ce dernier est ramenée au niveau de base, 48 heures après le maximum d'excrétion, sauf pour des expositions extrêmement importantes.

Lors de l'exposition au naphthalène, environ 1 à 8 % du naphthalène est éliminé sous forme de 1-naphtol. La demi-vie d'élimination urinaire des naphtols est de l'ordre de 4 heures. La majorité du naphthalène absorbé semble être éliminée sous forme de divers métabolites dans les urines [15], en effet, 88 à 98 % de naphthalène absorbé par voie pulmonaire sont éliminés dans les urines sous forme de divers métabolites, conjugués ou non [33].

1.4 Effets sanitaires

Les effets des HAP sur la santé sont multiples. La revue de la littérature scientifique indique des effets d'immunotoxicité, de cardiotoxicité, de cancérogénicité et de reprotoxicité. De manière générale, les HAP sont décrits pour avoir des effets immunosuppresseurs car ils sont capables d'inhiber l'immunité humorale et l'immunité à médiation cellulaire [34]. Une inhibition de la production d'anticorps (IgG et IgA), a été observée chez des travailleurs de four à coke exposés de façon chronique aux polluants atmosphériques et notamment aux HAP [35]. Les HAP sont également capables d'altérer l'immunité innée. Chez l'Homme, le B[a]P perturbe la différenciation et la maturation de certaines cellules [36]. Parallèlement à leurs effets immunosuppresseurs, selon les circonstances d'exposition (dose et durée d'exposition), les HAP sont également capables de stimuler la réponse immunitaire. Ainsi, le B[a]P est capable de stimuler le système immunitaire notamment en augmentant la production de certaines cytokines [37]. Par ailleurs, les HAP par leurs effets immunostimulateurs seraient à l'origine du développement ou de l'aggravation de l'asthme et des troubles allergiques [37].

Le B[a]P, substance qui se trouve dans un bon nombre de mélanges de HAP en proportion relativement constante (environ 10° %) est un cancérogène avéré pour l'homme (groupe 1 du Circ). Trois autres HAP sont classés cancérogènes probables (groupe 2A du Circ) : cyclopenta[c,d]pyrène, dibenzo[a,h]anthracène et dibenzo[a,l]pyrène, et 11 autres sont classés cancérogènes possibles (groupe 2B).

Les composés chimiques de la famille des HAP sont capables de déclencher la mort cellulaire par apoptose par différents mécanismes, ils constituent donc un facteur de risque précoce de développement de cancer du foie. Par ailleurs, une association positive et significative entre l'exposition aux HAP (principaux constituants des polluants atmosphériques et de la fumée de cigarette) et un risque accru de maladies cardiovasculaires a été observée [38].

Chez les enfants en bas âge, dans une étude de cohorte, il était observé que l'exposition prénatale aux HAP, mesuré à la fois comme les formes hydroxylées des HAP urinaires individuels et comme mélanges complexes, avait des effets neuro-développementaux, avec des preuves d'un risque plus élevé de retard neuro-développemental [29].

1.5 Mesure et interprétation des niveaux biologiques des hydrocarbures aromatiques polycycliques

Il existe plusieurs approches pour évaluer l'exposition humaine aux HAP. La plus courante consiste à mesurer la concentration des métabolites des HAP hydroxylés dans l'urine.

La présence de métabolites du benzo[a]pyrène dans l'urine de travailleurs exposés à des HAP dans l'air fournit la preuve d'une absorption de cette substance par inhalation [14]. La concentration urinaire du métabolite 3-hydroxybenzo[a]pyrène a servi de biomarqueur de l'exposition au benzo[a]pyrène chez les humains [39]. La présence d'une quantité mesurable de 3-hydroxybenzo[a]pyrène dans l'urine est un indicateur d'une exposition à cette substance, mais elle ne signifie pas nécessairement que des effets nocifs sur la santé s'ensuivront.

Le naphthalène est un HAP classé cancérogène possible par le Circ (groupe 2B). Le suivi biologique de son exposition passe par le dosage du 1- et du 2-hydroxynaphtalène (1- et 2-OH Na) qui sont ses métabolites urinaires majoritaires. Leur cinétique d'élimination très rapide ne permet de suivre que les expositions récentes et le prélèvement devra se faire le plus rapidement possible après l'exposition. Toutefois, le 1-hydroxynaphtalène est un biomarqueur non spécifique des HAP car le métabolisme du carbaryl, un insecticide couramment utilisé -mais depuis interdit en France-, en produit également. Concernant le 2-hydroxynaphtalène, ses concentrations urinaires élevées pourraient permettre de l'utiliser dans le cas d'une exposition à de faibles niveaux d'HAP.

Le phénanthrène est un HAP classé non cancérigène par l'Union Européenne (UE) et appartenant au groupe 3 du CIRC. Du fait d'un métabolisme plus complexe que celui du naphthalène, le phénanthrène possède de nombreux métabolites hydroxylés. Lors d'une exposition professionnelle, le statut tabagique des travailleurs n'est pas un facteur de confusion pour les métabolites monohydroxylés du phénanthrène ce qui en fait de potentiels biomarqueurs. Cependant, contrairement au 2-hydroxyphénanthrène, les concentrations urinaires de 1-hydroxyphénanthrène et de 3-hydroxyphénanthrène ne sont pas significativement reliées aux niveaux atmosphériques de phénanthrène.

Le fluorène, comme le naphthalène et le phénanthrène, est un HAP abondamment retrouvé dans les mélanges. Il est classé non cancérigène par l'UE et appartient au groupe 3 du CIRC. On peut retenir que parmi les nombreux métabolites du fluorène et malgré une forte influence du statut tabagique, le 2-hydroxyfluorène semble être un bon biomarqueur de l'exposition au fluorène atmosphérique en milieu professionnel.

Concernant **le fluoranthène**, son métabolisme produit des métabolites hydroxylés et on considère que la présence de 3-hydroxyfluoranthène dans l'urine est un indicateur d'une exposition récente.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 Contexte du programme national de biosurveillance et de l'étude Esteban

En France, la loi du Grenelle de l'environnement (n° 2009-967 du 3 août 2009) a conduit à l'élaboration d'un programme national de biosurveillance de la population française. Ce programme a été inscrit dans le plan national santé environnement (PNSE) 2 puis 3. Ce programme, préparé entre mai 2009 et mars 2010 par un Comité de pilotage mis en place et animé par Santé publique France⁴, reposait sur la mise en place de deux études :

- **le volet périnatal** mis en œuvre au sein de la cohorte Elfe (Etude Longitudinale Française depuis l'Enfance, 2011). L'objectif était d'estimer l'exposition des femmes enceintes et de leurs enfants in utero à certains polluants présents dans l'environnement et les déterminants de ces niveaux d'imprégnation [40-42]. Cependant, les HAP n'ont pas été analysés dans le volet périnatal ;
- l'étude nationale transversale en population générale nommée **Esteban** (Etude de Santé sur l'Environnement, la Biosurveillance, l'Activité physique et la Nutrition), dont un des volets a été conçu pour estimer l'imprégnation de la population générale âgée de 6 à 74 ans à diverses substances de l'environnement et pour améliorer la compréhension des déterminants de l'exposition. La phase de collecte des données de l'étude Esteban a eu lieu d'avril 2014 à mars 2016.

2.2 Les objectifs

Les objectifs principaux du volet surveillance biologique des expositions de l'étude Esteban concernant les HAP urinaires étaient les suivants :

- décrire les niveaux des HAP de la population française continentale, mesurés à partir du prélèvement des premières urines du matin recueilli et établir de nouvelles valeurs de référence d'exposition ;
- étudier les variations temporelles et géographiques des niveaux d'imprégnation par les HAP urinaire par une comparaison avec les résultats d'études antérieures menées en France et à l'étranger ;
- rechercher les déterminants des niveaux d'imprégnation de la population générale pour certains métabolites des HAP.

2.3 Population

La population cible de l'étude Esteban était constituée de l'ensemble des personnes résidant en France continentale âgées de 6 à 74 ans et vivant dans un ménage ordinaire sur la période d'étude. Les inclusions des participants se sont déroulées entre avril 2014 et mars 2016, au cours de quatre vagues successives, de durées égales, afin d'équilibrer les inclusions en fonction de la saisonnalité des expositions environnementales et de l'alimentation.

⁴ Réunissant la Direction générale de la Santé, la Direction générale de la prévention des risques, la Direction générale du Travail, l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments et l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail aujourd'hui regroupées au sein de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail.

Pour être éligibles, les individus devaient résider au moins quatre jours par semaine dans leur résidence habituelle, maîtriser suffisamment la langue française, ne pas déménager en dehors des zones géographiques couvertes au cours de la période d'étude et ne pas souffrir d'une pathologie rendant impossible la réalisation de l'étude (alimentation artificielle entérale ou parentérale, contre-indication à un prélèvement sanguin).

Le dosage des hydrocarbures aromatiques polycycliques dans les urines a été réalisé sur des sous-échantillons aléatoires d'enfants et d'adultes vivant en France, ayant réalisé un examen de santé et pour lesquels on disposait de quantité suffisante d'urines pour la réalisation des dosages. Ainsi les HAP ont été mesurés chez 398 enfants et 1°099 adultes.

2.4 Recueil des données

Les données relatives aux trois grandes thématiques étudiées dans Esteban ont principalement été recueillies par questionnaires (renseignés en face à face avec un enquêteur se rendant au domicile des participants et par auto-questionnaires papiers ou via internet selon le choix des participants).

Des données démographiques, socio-économiques, sur l'alimentation, l'activité physique, la sédentarité, l'environnement résidentiel et professionnel, la santé générale et la consommation de soins ont été recueillies à travers la passation de différents questionnaires. D'autre part, l'ensemble des mesures et des prélèvements biologiques (sang veineux, urines, mèche de cheveux) a été effectué dans le cadre d'un examen de santé. Pour se faire, Santé publique France s'est appuyé sur le réseau des Centres d'examen de santé de l'Assurance Maladie (CES). Pour les enfants, et les adultes qui en avaient exprimé le choix, l'examen de santé était effectué à domicile, avec la venue d'un infirmier diplômé d'état (IDE). Les traitements immédiats des prélèvements biologiques ont été réalisés dans les laboratoires d'analyses rattachés aux CES.

Des informations plus détaillées sur l'ensemble des données recueillies et sur les aspects opérationnels de la réalisation de l'étude Esteban sont disponibles dans un article spécifique décrivant le protocole de l'étude [43].

2.5 Collecte et traitement des échantillons biologiques d'urines

Le **recueil urinaire** était effectué au réveil afin de collecter les premières urines du matin le jour de l'examen de santé. Les participants devaient remplir par miction directe, un pot en polypropylène (PP) de haute densité d'une contenance de 250 ml, remis par les enquêteurs lors de visites préalables au domicile des participants. Un volume de 200 ml était souhaité même s'il était attendu que la quantité prélevée chez les enfants soit moins importante (notamment chez les 6-10 ans). Le pot contenant les urines était ensuite placé dans un sachet opaque, puis remis aux infirmiers lors de l'examen de santé, conservé au frais entre +4 °C et +10 °C et à l'abri de la lumière avant le transport vers les laboratoires.

À l'arrivée des prélèvements urinaires dans les laboratoires, aucun traitement n'était nécessaire hormis leur homogénéisation. Les échantillons ont ensuite été aliquotés en petits volumes (1 ml, 2 ml, 5 ml et 10 ml) à l'aide de pipettes en verre afin d'éviter de potentielles contaminations ou adsorption pouvant impacter les dosages de certains biomarqueurs urinaires comme les bisphénols par exemple. Les cryotubes de cryoconservation sont en polypropylène (PP) de haute densité également.

L'ensemble des échantillons biologiques en provenance des laboratoires ont été transportés par camion réfrigéré au Centre de ressources biologiques (CRB) de l'hôpital Bretonneau au CHU de Tours afin d'y être conservés dans des congélateurs à -80 °C pour les échantillons urines et à température ambiante pour les prélèvements de cheveux. Le transport des échantillons des laboratoires vers la biothèque était organisé de façon régulière tout au long de la phase de collecte.

Une fiche de suivi et de traçabilité des prélèvements renseignée aux différentes étapes avait permis de connaître les conditions de réalisation, de traitement et de stockage des prélèvements de chaque participant et de prendre en compte les écarts ou anomalies observés.

Les échantillons urinaires ont été transportés congelés entre -80 °C et -60 °C sous carboglace et sonde de température, vers le laboratoire de dosage. Le temps de transport des échantillons de la biothèque vers le laboratoire en charge du dosage des HAP était inférieur à 24 heures. Les échantillons ont été conservés au sein du laboratoire à l'abri de la lumière et à une température de -20 °C. Le laboratoire Laberca-Oniris pour le dosage des HAP et le laboratoire ChemTox pour le dosage de la créatinine avaient respecté les procédures décrivant les conditions de mise en œuvre pour assurer la conservation des échantillons selon les directives reconnues au plan international et, également, en cas de panne (alarmes, groupe de secours, etc.).

2.6 Dosage des hydrocarbures aromatiques polycycliques et de la créatinine urinaire

Dosage des HAP urinaires

Le dosage des molécules des HAP dans les échantillons d'urines des participants à l'étude Esteban a été réalisé par le laboratoire Laberca-Oniris (Nantes, 44). Les 21 molécules d'HAP ont été mesurées sur 2 sous échantillons aléatoires de participants Esteban correspondant à 1°099 adultes et 398 enfants.

Les échantillons d'urines étaient conditionnés dans des cryotubes en polypropylène (PP). Le laboratoire de dosage disposait d'un volume de 10 ml pour réaliser le dosage de toutes les molécules d'HAP. Le dosage a été réalisé par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse en tandem (GC-MS/MS) ou par chromatographie liquide couplée à un détecteur fluorimétrique (LC-FLD) dans l'urine selon les molécules. Les étapes de la méthode étaient tout d'abord une préparation de l'échantillon suivie d'une hydrolyse enzymatique avec la β -glucuronidase/arylsulfate, d'une extraction liquide/liquide sur colonne et enfin d'une détection et quantification par GC-MS/MS ou LC-FLD.

La courbe d'étalonnage établie tous les 100 échantillons reposait sur au moins 6 points de concentration encadrant les valeurs attendues. Des « blancs méthodes » sont dosés tous les 10 échantillons afin de garantir la non contamination du circuit analytique. Des contrôles de qualité internes étaient intégrés dans les séries de dosage tous les 10 échantillons de manière alternée en commençant par le contrôle de qualité (CQ) le plus faiblement concentré. Ces QC ont couvert 3 niveaux de concentration : proche de la LOQ, à la valeur moyenne attendu en population générale et élevée. De même, les calculs de fidélité intermédiaire et d'incertitude ($k=2$) ont été réalisés sur plusieurs niveaux de concentrations (proche de la LOQ, moyen et élevé).

Les limites de quantification (LOQ) ont été calculées sur la base d'un rapport signal sur bruit de 3 sur la transition la moins sensible pour la méthode par GC-MS/MS. Dans le cas du 3-hydroxybenzo[a]pyrène (3-OH-BaP), la LOQ a été déterminée sur la base d'un rapport signal-sur-bruit sur le pic chromatographique (signal fluorimétrique). Les principes de la décision européenne 2002/657/EC concernant les critères d'identification ont été suivis. Les LOD et LOQ souhaitées par Santé publique France étaient inférieures à celles calculées par le laboratoire pour certaines molécules d'HAP mais restaient cependant acceptables pour les objectifs de l'étude Esteban.

Tableau 1. Liste des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) étudiés dans ESTEBAN

HAP& métabolites	Abréviations	Circ*	Formule chimique	N°CAS
Pyrènes			C₁₆H₁₀	
1-hydroxypyrrène	1-OH-PY	3		5315-79-7
3-hydroxybenzo[a]pyrrène	3-OH-BaP	1	C ₂₀ H ₁₂	13345-21-6
Naphtalènes			C₁₀H₈	
1-hydroxynaphtalène	1-OH-NA	2B		90-15-3
2-hydroxynaphtalène	2-OH-NA	2B		135-19-3
Anthracènes (Benzo)			C₁₈H₁₂	
1-Hydroxybenz[a]anthracène	1-OH-BaA	2B		69847-26-3
∑3-9 Hydroxybenz[a]anthracène	3-OH-BaA	2B		4834-35-9
	9-OH-BaA	2B		34570-62-2
Chrysènes			C₁₈H₁₂	
1-hydroxychrysène	1-OH-CHR	2B		63019-38-5
2-hydroxychrysène	2-OH-CHR	2B		65945-06-4
3-hydroxychrysène	3-OH-CHR	2B		63019-39-6
4-hydroxychrysène	4-OH-CHR	2B		63019-40-9
6-hydroxychrysène	6-OH-CHR	2B		37515-51-8
5-methylchrysène	5-MCH	2B	C ₁₉ H ₁₄	3697-24-3
Fluoranthène			C₁₆H₁₀	
3-hydroxyfluoranthène	3-OH-FA	3		17798-09-3
Fluorènes			C₁₃H₁₀	
2-hydroxyfluorène	2-OH-FL	3		2443-58-5
3-hydroxyfluorène	3-OH-FL	3		6344-67-8
9-hydroxyfluorène	9-OH-FL	3		1689-64-1
Phénanthrènes			C₁₄H₁₀	
1-hydroxyphénanthrène	1-OH-PHE	3		2433-56-9
2-hydroxyphénanthrène	2-OH-PHE	3		605-55-0
3-hydroxyphénanthrène	3-OH-PHE	3		605-87-8
4-hydroxyphénanthrène	4-OH-PHE	3		7651-86-7
9-hydroxyphénanthrène	9-OH-PHE	3		484-17-3

* Classification CIRC selon la cancérogénicité pour l'homme: 1 : Cancérogène certain, 2A : Probablement cancérogène, 2B : Peut-être cancérogène pour l'homme, 3 : Inclassable quant à sa cancérogénicité.

Les paramètres de la méthode analytique (LOD et LOQ) pour toutes les molécules d'HAP dosées dans le cadre de l'étude Esteban ainsi que les taux de détection et de quantification sont présentés dans le tableau 2.

Tableau 2. Limites et taux de détection et de quantification pour les HAP et leurs métabolites dosés dans l'étude Esteban

HAP& métabolites	LOD (ng. L ⁻¹)	LOQ (ng. L ⁻¹)	ENFANTS		ADULTES		
			%> LOD	%> LOQ	%> LOD	%> LOQ	
Pyrène	1-hydroxypyrene	5	10	100	100	98,5	97,2
	3-hydroxybenzo[a]pyrene	0,5	1		0	0	2,4
Naphtalène	1-hydroxynaphtalène	15	50	100	99,7	100	99,8
	2-hydroxynaphtalène	15	50	100	100	100	99,9
Anthracène	1-Hydroxybenz[a]anthracène	5	10	0	0	0	0
	∑3-9 Hydroxybenz[a]anthracène	5	10	0	0	0	0
Chrysène	1-hydroxychrysène	5	10	0	0	0	0
	2-hydroxychrysène	5	10	0	0	0	0,1
	3-hydroxychrysène	5	10	0	0	0	0
	4-hydroxychrysène	5	10	0	0,4	0	0
	6-hydroxychrysène	5	10	0	0	0	0
	5-methylchrysène	5	10	0	0	0	0
Fluoranthène	3-hydroxyfluoranthène	5	10	0	0,3	0	3,9
Fluorène	2-hydroxyfluorène	2	5	100	100	100	100
	3-hydroxyfluorène	2	5	100	100	100	100
	9-hydroxyfluorène	5	10	100	100	100	100
Phénanthrène	1-hydroxyphénanthrène	2	5	100	100	100	99,9
	2-hydroxyphénanthrène	2	5	100	100	100	100
	3-hydroxyphénanthrène	2	5	100	100	100	100
	4-hydroxyphénanthrène	5	10	97,7	81,2	94,9	79,9
	9-hydroxyphénanthrène	5	10	100	98	99,7	98

Dosage de la créatinine urinaire

Le laboratoire **ChemTox** (France, 67) disposait d'un volume de 0,5 mL d'urine pour réaliser le dosage de la créatinine urinaire, facteur d'ajustement des résultats des HAP urinaires. L'analyse était réalisée par spectrophotométrie à 546 nm selon la méthode de Jaffé qui consistait à mesurer l'intensité de la coloration du complexe rouge-orangé formé par la créatinine et l'acide picrique en milieu basique. La mesure était effectuée en cinétique : la vitesse de formation de la coloration étant proportionnelle à la concentration en créatinine dans l'échantillon urinaire. Le domaine de mesure s'étendait de 0,1 à 54 mmol. L⁻¹. Les coefficients de variabilité (CV) de répétabilité et de fidélité intermédiaire étaient inférieurs à 2° %. L'incertitude (k=2) était inférieure à 3° % et les biais de justesse inférieurs à 4° %.

2.7 Analyses statistiques

Plan de sondage et pondérations

Le plan de sondage de l'étude Esteban est stratifié à trois degrés. Au premier degré, un échantillon stratifié d'unités primaires (communes ou regroupements de communes) a été tiré au sort. Au deuxième degré, dans chaque unité primaire, des ménages ont été tirés au sort par échantillonnage téléphonique. Au troisième degré, un seul individu (adulte ou enfant) a été tiré au sort parmi les membres éligibles du ménage (méthode Kish). La stratification a été réalisée en fonction de deux variables : la région (8 zones géographiques) et le degré d'urbanisation (5 strates : rural ;

< 20 000 habitants ; 20 000 à 100°000 habitants ; > 100°000 habitants, Paris). Le plan d'échantillonnage est décrit de façon détaillée dans l'article précédemment publié sur le protocole de l'étude Esteban [43].

Le dosage des métabolites des HAP a été réalisé sur un échantillon aléatoire d'individus enfants et adultes qui avaient participé au volet examen de santé de l'étude et pour lesquels on disposait d'un volume suffisant d'urines (10 ml) en biothèque pour permettre de réaliser ce dosage.

Le processus de calcul des pondérations a été effectué en trois étapes. La première étape a consisté à calculer des pondérations initiales dues au plan de sondage. En second lieu, les poids de sondage ont été ajustés par rapport à la non-réponse totale. Cette étape a été réalisée en utilisant la méthode des scores [44], méthode basée sur le principe des groupes de réponse homogènes et faisant appel à des informations disponibles à la fois pour les répondants et les non-répondants. Enfin, un calage a été effectué en utilisant les marges issues du recensement permettant à la population d'étude d'être comparable avec la population source selon certains critères (âge, sexe, niveau de diplôme, vit seul ou en couple...).

Traitement des données manquantes et censurées à gauche

Les données manquantes des variables issues des différents questionnaires et les valeurs censurées à gauche des biomarqueurs (niveaux biologiques inférieurs à la LOD ou LOQ) ont été imputées en utilisant la méthode d'imputation multiple par équations chaînées. Cette méthode est très flexible permettant à la fois d'imputer des variables quantitatives et qualitatives censurées. Elle est implémentée dans la package ICE de Stata [45]. Les valeurs imputées ne pouvant pas être traitées comme des données réelles mesurées, le processus d'imputation a été répété une dizaine de fois afin d'obtenir des jeux de données complets. Ces derniers ont été analysés séparément et les résultats ont été combinés afin de tenir compte de l'incertitude liée aux données imputées [46].

Prise en compte de la dilution urinaire

Pour les analyses descriptives, des tableaux séparés sont présentés pour les concentrations des métabolites des HAP exprimées par volume d'urine et les concentrations des métabolites des HAP exprimées par gramme de créatinine urinaire. La créatinine étant liée à différents facteurs, nous avons opté pour la solution proposée par Barr [47] qui consiste à séparer la concentration de biomarqueur et la créatinine dans le modèle. Les concentrations en créatinine après transformation logarithmique ont été introduites dans le modèle multivarié comme variable d'ajustement. Dans cette étude, les individus présentant des concentrations en créatinine < 0,3 g. L⁻¹ et > 3 g. L⁻¹ ont été inclus dans les différentes analyses.

Description des niveaux d'imprégnation

La distribution des niveaux d'imprégnation est décrite sous forme de percentiles (10, 25, 50, 75, 90, 95) et d'une moyenne géométrique (MG) avec les intervalles de confiance à 95 % (IC 95 %) pour la moyenne géométrique et le percentile 95. Les résultats sont présentés chez les enfants et les adultes par tranche d'âges et par sexe, et en fonction du statut tabagique pour les adultes. L'ensemble des analyses prend en compte le plan de sondage de l'étude.

Recherche des déterminants des niveaux d'imprégnation

L'étude des déterminants des niveaux d'imprégnation par les HAP mesurés dans les urines a été réalisée à partir d'un modèle linéaire généralisé (GLM) prenant en compte le plan de sondage de l'étude. Les concentrations en HAP ont été log-transformées afin de favoriser la normalité des résidus du modèle. Certains facteurs de risque et d'ajustement ont été sélectionnés *a priori* au vu de la littérature sur les facteurs influençant les niveaux d'imprégnation par les HAP. D'autres facteurs d'exposition ont été sélectionnés lors de la modélisation en se basant sur le critère d'information

d'Akaike (AIC). La forme de la relation entre les niveaux d'imprégnation par les HAP et les facteurs de risque et d'ajustement quantitatifs a été ajustée en utilisant des fonctions splines. La colinéarité entre les facteurs inclus dans le modèle, l'homoscédasticité et la normalité des résidus ont été examinées. Pour étudier la robustesse des résultats, en particulier l'effet des valeurs extrêmes des niveaux d'imprégnation par les hydrocarbures aromatiques polycycliques, une analyse de sensibilité a été effectuée en excluant de l'analyse les individus ayant des valeurs extrêmes (99^e percentile) des HAP.

Les résultats sont présentés sous forme de pourcentage de variation des concentrations en HAP :

- associé à une augmentation interquartile des facteurs d'exposition quantitatifs ;
- par rapport à une référence pour les facteurs d'exposition qualitatifs.

Les facteurs de risque des niveaux d'imprégnation par les HAP testés dans les modèles construits pour les adultes et les enfants sont listés en annexe.

Logiciels utilisés

L'imputation des données manquantes ou censurées a été réalisée avec le module ICE de la version 14 de Stata [48]. Les analyses statistiques (descriptives et multivariées) ont été réalisées avec le package Survey [49] du logiciel R [50].

3. RÉSULTATS DES ANALYSES DESCRIPTIVES DE L'IMPRÉGNATION PAR LES HAP CHEZ LES ENFANTS

Parmi les 1 104 enfants âgés de 6 à 17 ans inclus dans l'étude et ayant réalisé des prélèvements biologiques, le dosage des HAP a été réalisé sur un échantillon aléatoire de 398 enfants disposant de 10 ml d'urines. L'ensemble des analyses statistiques pour les HAP a été réalisé sans exclure les participants ayant une concentration en créatinine inférieure à 0,3 g. L⁻¹ ou > 3 g. L⁻¹ ainsi que les participants ayant déclaré avoir fumé dans les 2 heures précédant le prélèvement urinaire.

Dans la suite de ce rapport, sont présentés la distribution en percentile de chaque métabolite d'HAP dosés mais aussi la somme (calculée) des métabolites appartenant à la même famille d'HAP. Ainsi, par exemple les concentrations urinaires de 1-hydroxynaphtalène et de 2-hydroxynaphtalène ont été additionnées pour décrire la somme des naphtalènes.

Les sommes réalisées étaient :

Σ **naphtalènes** = somme des naphtalènes = Σ (1-hydroxynaphtalène+2-hydroxynaphtalène)

Σ **fluorènes** = somme des fluorènes = Σ (2-hydroxyfluorène+3-hydroxyfluorène+9-hydroxyfluorène)

Σ **phénanthrènes** = somme des phénanthrènes = Σ (1-hydroxyphénanthrène+2-hydroxyphénanthrène+3-hydroxyphénanthrène+4-hydroxyphénanthrène+9-hydroxyphénanthrène)

Pour l'analyse des déterminants, un modèle d'analyse multivarié a été constitué pour chaque somme calculée des concentrations urinaires de chaque famille d'HAP.

Le 4^e modèle multivarié constitué correspond au 1-hydroxypyrene.

Le 3-hydroxybenz[a]anthracène et le 9-hydroxybenz[a]anthracène ont été dosés en même temps, (Σ 3-9-Hydroxybenz[a]anthracène)

OH=hydroxy NA=naphtalène PHE=phénanthrène FL=Fluorène

3.1 Résultats des dosages chez les enfants

Niveaux de la créatinine et des HAP dans les urines

Les concentrations moyennes et les valeurs extrêmes de la créatinine urinaire mesurées dans l'échantillon d'enfants de l'étude Esteban sont présentées dans le tableau 3. La concentration moyenne de la créatinine urinaire mesurée chez les 398 enfants âgés de 6-17 ans ayant fait l'objet du dosage des métabolites des hydrocarbures aromatiques polycycliques, était de 1,15 g. L⁻¹.

Tableau 3. Valeurs moyennes, minimales et maximales de la créatinine urinaire en g. L⁻¹ chez les enfants dans Esteban

Concentration urinaire de créatinine en g. L ⁻¹	n	Minimum	Moyenne	P99	Maximum
Enfants (6-17 ans)	398	0,10	1,15	2,61	3,15

Les résultats d'imprégnation par les 21 molécules d'HAP dosées dans l'étude Esteban chez les enfants de 6 à 17 ans inclus dans l'étude entre avril 2014 et mars 2016, exprimés en ng. L⁻¹ et en ng. g⁻¹ de créatinine sont présentés dans les tableaux 4 et 5.

Les distributions des concentrations en HAP par sexe, classes d'âge et par statut tabagique chez les enfants sont présentés en annexe de cette note.

Les taux de quantification (%>LOQ) étaient variables d'une famille d'HAP à une autre :

- le 3-hydroxybenzo[a]pyrène, le 1-hydroxybenz[a]anthracène, le Σ 3-9-hydroxybenz[a]anthracène, les 1,2,3,4,6-hydroxychrysène, le 5-methylchrysène, le 3-hydroxyfluoranthène n'étaient pas quantifiés dans les échantillons ;
- le 1-hydroxypyrene, les 1,2-hydroxynaphtalènes, les 2,3,9-hydroxyfluorènes et les 1,2,3,4,9-hydroxyphénanthrènes avaient un pourcentage de quantification compris entre 81 et 100 %.

La concentration moyenne du 1-hydroxypyrene dans les urines des enfants était égale à 100,2 ng.°L⁻¹. (97,7 ng. g⁻¹ de créatinine) et le percentile 95 de la distribution était égale à 259,3 ng.°L⁻¹ (271,2 ng. g⁻¹ de créatinine). On n'observait pas de différence d'imprégnation selon le sexe.

Parmi les HAP analysés, les enfants sont plus imprégnés par les naphtalènes en particulier le 2-hydroxynaphtalène. La moyenne géométrique (MG) de ce dernier était égale à 4°319,6 ng. L⁻¹ (4°214,3 ng. g⁻¹ de créatinine) et le percentile 95 était égale à 18°853,0 ng. L⁻¹ (16°880,0 ng. g⁻¹ de créatinine).

Les niveaux moyens des naphtalènes (1-hydroxynaphtalène et 2-hydroxynaphtalène) étaient les plus élevés de tous les métabolites des HAP dosés dans Esteban chez les enfants.

Tableau 4. Distribution des concentrations en HAP urinaires en ng. L⁻¹ des enfants âgés de 6 à 17 ans, France continentale (2014-2016)

Biomarqueurs (ng. L ⁻¹)	n	%>LOQ	MG	IC à 95 % MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95 % P95
Pyrènes											
1-hydroxypyrrène	398	100	100,2	[91,4 ; 109,8]	46,6	72,3	102,0	140,4	197,9	259,3	[214,3 ; 295,0]
3-hydroxybenzo[a]pyrrène	398	0,0	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Naphtalènes											
1-hydroxynaphtalène	398	99,8	527,3	[458,1 ; 606,9]	188,4	288,93	472,24	825,7	1569,5	3044,0	[1751,8 ; 5493,8]
2-hydroxynaphtalène	398	100	4319,6	[3830,7 ; 4871,0]	1432,1	2480,7	3845,4	7919,3	15326,0	18853,0	[16894,8 ; 19760,2]
∑ Naphtalènes	398		5115,0	[4545,4 ; 5756,0]	1794,5	2999,7	4525,7	8957,2	16313,0	21927,0	[18768,2 ; 28816,3]
Anthracènes											
1-Hydroxybenz[a]anthracène	398	0,0	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
∑ 3-9 Hydroxybenz[a]anthracène	398	0,0	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Chrysènes											
1-hydroxychrysène	398	0,0	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
2-hydroxychrysène	398	0,0	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
3-hydroxychrysène	398	0,0	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
4-hydroxychrysène	398	0,3	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
6-hydroxychrysène	398	0,0	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
5-methylchrysène	398	0,0	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Fluoranthènes											
3-hydroxyfluoranthène	398	0,3	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Fluorènes											
2-hydroxyfluorène	398	100	215,0	[194,7 ; 237,48]	102,7	140,6	218,9	314,2	423,1	653,1	[484,3 ; 872,2]
3-hydroxyfluorène	398	100	73,7	[66,47 ; 81,6]	31,8	46,4	72,3	104,8	162,2	264,2	[201,1 ; 413,6]
9-hydroxyfluorène	398	100	265,4	[236,95 ; 297,15]	112,6	180,7	263,1	400,4	643,0	847,8	[708,3 ; 1108,0]
∑ Fluorènes	398	-	577,3	[522,57 ; 637,85]	275,6	407,1	580,8	801,8	1178,2	1668,2	[1358,2 ; 2171,6]
Phénanthrènes											
1-hydroxyphénanthrène	398	99,9	119,9	[109,3 ; 131,6]	57,2	80,15	125,95	173,25	249,0	349,0	[278,2 ; 432,0]
2-hydroxyphénanthrène	398	100	53,7	[49,5 ; 58,3]	26,8	37,22	53,25	73,58	111,9	143,7	[121,0 ; 183,3]
3-hydroxyphénanthrène	398	100	92,5	[83,4 ; 102,7]	41,4	60,01	96,87	134,24	200,0	291,4	[233,4 ; 327,8]
4-hydroxyphénanthrène	398	81,2	18,8	[16,9 ; 20,8]	<LOQ	12,46	18,89	28,02	48,4	63,1	[56,5 ; 80,5]
9-hydroxyphénanthrène	398	98,0	34,3	[31,5 ; 37,4]	15,8	24,10	34,91	48,76	67,6	92,0	[75,8 ; 110,0]
∑ Phénanthrènes	398	-	328,3	[300,2 ; 359,1]	162,8	224,08	332,80	463,29	695,7	870,3	[766,0 ; 1033,5]

NC : non calculé en raison du taux de censure élevé (%>LOQ inférieur à 60%)

Tableau 5. Distribution des concentrations en HAP urinaires en ng. g⁻¹ de créatinine des enfants âgés de 6 à 17 ans, France continentale (2014-2016)

Biomarqueurs (ng. g ⁻¹)	n	%>LOQ	MG	IC à 95 % MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95 % P95
Pyrènes											
1-hydroxypyrrène	398	100	97,7	[90,4 ; 105,7]	48,78	66,44	97,2	136,9	194,2	271,2	[213,2 ; 332,7]
3-hydroxybenzo[a]pyrrène	398	0,0	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Naphtalènes											
1-hydroxynaphtalène	398	99,8	514,4	[457,3 ; 578,6]	181,48	262,8	467,9	835,19	1553,2	2835,6	[2140,6 ; 4532,0]
2-hydroxynaphtalène	398	99,9	4214,3	[3758,8 ; 4725,0]	1514,9	2313,5	4046,0	7069,3	12916,0	16880,0	[14536,3 ; 19186,8]
∑ Naphtalènes	398		4990,3	[4479,4 ; 5559,4]	1837,9	2874,6	4697,1	8006,6	14320,0	19157,0	[16184,4 ; 21984,2]
Anthracènes											
1-Hydroxybenz[a]anthracène	398	0,0	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
∑ 3-9 Hydroxybenz[a]anthracène	398	0,0	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Chrysènes											
1-hydroxychrysène	398	0,0	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
2-hydroxychrysène	398	0,0	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
3-hydroxychrysène	398	0,0	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
4-hydroxychrysène	398	0,3	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
6-hydroxychrysène	398	0,0	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
5-methylchrysène	398	0,0	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Fluoranthènes											
3-hydroxyfluoranthène	398	0,3	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Fluorènes											
2-hydroxyfluorène	398	100	209,8	[194,4 ; 226,4]	104,6	142,4	198,7	293,4	429,2	557,98	[474,0 ; 628,1]
3-hydroxyfluorène	398	100	71,9	[65,9 ; 78,4]	32,6	47,6	66,6	104,2	170,2	234,5	[193,9 ; 311,0]
9-hydroxyfluorène	398	100	258,9	[236,4 ; 283,4]	108,1	169,0	249,7	387,2	619,2	792,1	[714,8 ; 887,0]
∑ Fluorènes	398	-	563,3	[522,1 ; 607,7]	274,1	375,3	542,8	799,1	1183,4	1482,8	[1306,7 ; 1643,9]
Phénanthrènes											
1-hydroxyphénanthrène	398	99,9	117,0	[108,3 ; 126,4]	56,0	79,3	113,6	168,0	253,6	312,2	[273,2 ; 392,9]
2-hydroxyphénanthrène	398	100	52,4	[48,8 ; 56,3]	28,8	36,4	48,5	74,3	102,1	131,8	[112,4 ; 153,6]
3-hydroxyphénanthrène	398	100	90,3	[83,1 ; 98,1]	44,3	61,2	88,1	125,5	194,19	245,4	[218,1 ; 286,3]
4-hydroxyphénanthrène	398	81,2	18,3	[16,6 ; 20,2]	<LOQ	11,8	16,4	28,3	46,4	61,6	[51,8 ; 70,9]
9-hydroxyphénanthrène	398	98,0	33,5	[30,9 ; 36,2]	15,7	21,4	32,3	48,7	73,5	93,6	[82,8 ; 108,4]
∑ Phénanthrènes	398	-	320,3	[297,3 ; 345,1]	163,2	217,2	302,0	459,5	646,7	825,1	[716,3 ; 971,4]

NC : non calculé en raison du taux de censure élevé (%>LOQ inférieur à 60 %)

Caractéristiques des participants présentant des niveaux élevés et comparaison des valeurs seuils

Chez les enfants, deux garçons et quatre filles âgés de 14 à 17 ans présentaient des niveaux de 1-hydroxypyrene supérieurs au percentile 99 de la distribution urinaire du 1-hydroxypyrene (P99 = 526,7 ng. L⁻¹). La valeur maximale d'imprégnation était égale à 787,4 ng. L⁻¹.

L'exploration des caractéristiques de ces 6 enfants les plus imprégnés par le 1-hydroxypyrene montrait que 4 enfants avaient déclaré être exposés au tabac (actif, passif ou les deux). Concernant les modes de préparation ou de cuisson des viandes, tous ont déclaré l'usage du barbecue au bois ; 5 habitaient en zone résidentielle ou commerçante ou industrielle ; 4 avaient déclaré habiter à 200 mètres autour d'incinérateurs de déchets ou de décharge de déchets ou de voies routières à grande circulation. Concernant la fréquence d'utilisation du barbecue le long de l'année, 3 avaient déclaré l'utiliser au moins 2 fois/semaine et 1 enfant au moins une fois/semaine.

Pour ce qui est de la somme des naphthalènes étudiés, le P99 était égal à 49°574,7 ng. L⁻¹. Chez ces 3 enfants dont 2 filles, les caractéristiques étaient similaires à celles décrites précédemment (utilisation de barbecue au bois pour les 3, 1 était exposé au tabac, 2 habitaient à 200 mètres autour d'incinérateurs de déchets ou de décharge de déchets ou de voies routières à grande circulation, tous les 3 avaient réalisé leur prélèvement urinaire pendant l'hiver, 2 brulaient de l'encens).

Concernant la famille des phénanthrènes, 5 enfants âgés de 6 à 15 ans dont 4 garçons avaient des niveaux d'imprégnations supérieurs au P99 de la distribution.

Enfin pour les fluorènes, 4 enfants (13-17 ans) dont 3 garçons avaient des niveaux d'imprégnation supérieurs au P99 de la distribution.

3.2 Niveaux d'imprégnation par les HAP mesurés dans les études antérieures chez les enfants

Études conduites en France

Il n'existe pas d'études françaises ayant mesuré l'imprégnation par les HAP chez les enfants en population générale française. L'étude Esteban fournit ainsi les premiers résultats des niveaux d'imprégnation des enfants âgés de 6 à 17 ans en population générale française, par les métabolites des HAP.

Études conduites à l'étranger

Les principales études ayant mesuré en population générale les niveaux d'exposition aux métabolites des HAP sur des classes d'âges similaires à Esteban et sur des effectifs importants pour permettre des comparaisons sont présentées dans le tableau 6.

Pour le 1-hydroxypyrene, le niveau moyen observé en France (MG) est similaire à celui observé en Allemagne (**GerES V** The German Environmental Survey for Children and Adolescents) et au Canada (**ECMS** 2014-2015, Enquête canadienne sur les mesures de santé). Il est cependant inférieur au niveau observé aux États-Unis (**Nhanes** National Health and Nutrition Examination Survey).

Concernant le 1 hydroxynaphtalène, la France a un niveau moyen inférieur à celui de l'Allemagne, du Canada et des Etats-Unis. Cependant pour le 2-hydroxynaphtalène, le niveau moyen français est similaire à celui de l'Allemagne et à celui des pays Nord-américains.

Concernant la famille des fluorènes, la France a un niveau supérieur à celui de l'Amérique du Nord pour le 9-hydroxyfluorène, alors que le niveau moyen des enfants en France pour le 2-hydroxyfluorène est inférieur à celui de la chine et de l'Allemagne.

Enfin concernant les phénanthrènes, la France a un niveau moyen pour la plupart des hydroxyphénanthrènes similaires aux nord-américains mais inférieur au niveau moyen en Allemagne.

Tableau 6. Comparaison des concentrations urinaires moyennes des métabolites de HAP (en ng.L⁻¹ et ng.g⁻¹ de créatinine) observées chez les enfants de 6 à 17 ans en France et à l'étranger

Pays/ étude	Année d'étude	Population	N	LOD (ng.L ⁻¹)	LOQ (ng.L ⁻¹)	%>LOQ (%>LOD)	MG ng.L ⁻¹ (ng.g ⁻¹ de créatinine)	P95 ng.L ⁻¹ (ng.g ⁻¹ de créatinine)
1-hydroxypyrrène (1-OH-PY)								
France – Esteban	2014-2016	6-17 ans	398	5	10	100%	100 (98)	259 (271)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	6-11 ans	510			100% (>LOD)	99 (110)	330 (330)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	12-19 ans	462			98,78% (>LOD)	110 (76)	470 (270)
USA - Nhanes [52]	2013-2014	6-11 ans	399	7	NC	-	131 (197)	544 (538)
USA - Nhanes [52]	2013-2014	12-19 ans	449	7	NC	-	160 (145)	748 (550)
Allemagne GerES V [53]	2014-2017	3-17 ans	516	-	10	99%	99 (87)	360 (280)
Chine ^b [54]	2015	7-13 ans	1206	6	-	97,8% (>LOD)	184	705
Corée KoNEHS [55]	2015-2017	6-11 ans	864			65,5% (>LOD)	108	1020
Corée KoNEHS [55]	2015-2017	12-18 ans	867			68,5% (>LOD)	163	2210
1-hydroxynaphtalène (1-OH-NA)								
France – Esteban	2014-2016	6-17 ans	398	15	50	99,8%	527 (514)	3044 (2836)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	6-11 ans	508			97,4% (>LOD)	620 (680)	3700 (3600)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	12-19 ans	497			98,6% (>LOD)	690 (510)	4700 (5200)
USA - Nhanes [52]	2013-2014	6-11 ans	399	60	NC	-	798 (1200)	5120 (6630)
USA - Nhanes [52]	2013-2014	12-19 ans	449	60	NC	-	1060 (964)	10500 (8980)
Allemagne GerES V [53]	2014-2017	3-17 ans	516	-	50	96%	785 (688)	7140 (5710)
2-hydroxynaphtalène (2-OH-NA)								
France – Esteban	2014-2016	6-17 ans	398	15	50	100%	4320 (4214)	18853 (16880)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	6-11 ans	503			100% (>LOD)	3800 (4200)	19000 (16000)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	12-19 ans	495			100% (>LOD)	4700 (3400)	32000 (15000)
USA - Nhanes [52]	2013-2014	6-11 ans	399	90	NC	-	3030 (4550)	18600 (18700)
USA - Nhanes [52]	2013-2014	12-19 ans	449	90	NC	-	5090 (4620)	28600 (17300)
Allemagne GerES V [53]	2014-2017	3-17 ans	516	-	50	100%	4233 (3706)	23700 (18700)
Chine ^b [54]	2015	7-13 ans	1206	33	-	98,8% (>LOD)	2571	12490
Corée KoNEHS [55]	2015-2017	6-11 ans	864			96,2% (>LOD)	2670	19800
Corée KoNEHS [55]	2015-2017	12-18 ans	866			97,2% (>LOD)	3050	20200
∑ Naphtalènes								
France – Esteban	2014-2016	6-17 ans	398	-	-	-	5115 (4990)	21927 (19157)
2-hydroxyfluorène (2-OH-FL)								
France – Esteban	2014-2016	6-17 ans	398	2	5	100%	215 (210)	653 (558)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	6-11 ans	510			100% (>LOD)	210 (230)	650 (530)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	12-19 ans	498			100% (>LOD)	240 (180)	930 (600)
USA - Nhanes [52]	2013-2014	6-11 ans	399	8	NC	-	119 (179)	549 (456)
USA - Nhanes [52]	2013-2014	12-19 ans	449	8	NC	-	172 (156)	1140 (767)
Allemagne GerES V [53]	2014-2017	3-17 ans	516	-	50	88%	387 (338)	1270 (1910)
Chine ^b [54]	2015	7-13 ans	1206	10	-	99,1% (>LOD)	837	4464

Belgique HBM Wallonie [56]	2019-2020	12-19 ans	282	-	100	11,0	<100	250
Corée KoNEHS [55]	2015-2017	6-11 ans	864			80,0% (>LOD)	209	1080
Corée KoNEHS [55]	2015-2017	12-18 ans	867			84,1% (>LOD)	263	1400
3-hydroxyfluorène (3-OH-FL)								
France – Esteban	2014-2016	6-17 ans	398	2	5	100%	74 (72)	264 (235)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	6-11 ans	510			100% (>LOD)	82 (90)	300 (270)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	12-19 ans	498			100% (>LOD)	91 (66)	440 (280)
USA - Nhanes [52]	2013-2014	6-11 ans	399	8	NC	-	57,7 (86,6)	266 (277)
USA - Nhanes [52]	2013-2014	12-19 ans	449	8	NC	-	79,9 (72,4)	611 (501)
Belgique HBM Wallonie [56]	2019-2020	12-19 ans	282	-	100	11,3	<100	220
9-hydroxyfluorène (9-OH-FL)								
France – Esteban	2014-2016	6-17 ans	398	5	10	100%	265 (259)	848 (792)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	6-11 ans	510			100% (>LOD)	94 (100)	400 (400)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	12-19 ans	496			100% (>LOD)	130 (92)	450 (410)
USA - Nhanes [52]	2011-2012	6-11 ans	397	10	NC	-	147 (212)	1030 (1000)
USA - Nhanes [52]	2011-2012	12-19 ans	388	10	NC	-	210 (203)	1010 (804)
∑ Fluorènes								
France - Esteban	2014-2016	6-17 ans	398	-	-	100%	577 (563)	1668 (1483)
1-hydroxyphénanthrène (1-OH-PHE)								
France – Esteban	2014-2016	6-17 ans	398	2	5	99,9%	120 (117)	349,02 (312)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	6-11 ans	510			100% (>LOD)	130 (140)	470 (500)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	12-19 ans	497			100% (>LOD)	150 (110)	750 (380)
USA - Nhanes [52]	2013-2014	6-11 ans	399	9	NC	-	68,2 (102)	302 (302)
USA - Nhanes [52]	2013-2014	12-19 ans	449	9	NC	-	92,9 (84,2)	381 (226)
Allemagne GerES V [53]	2014-2017	3-17 ans	516	-	5	100%	139 (122)	560 (470)
2-hydroxyphénanthrène (2-OH-PHE)								
France – Esteban	2014-2016	6-17 ans	398	2	5	100%	54 (52)	144 (132)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	6-11 ans	510			100% (>LOD)	43 (47)	140 (130)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	12-19 ans	497			100% (>LOD)	59 (43)	220 (150)
USA - Nhanes [52]	2011-2012	6-11 ans	397	10	NC	-	39,6 (56,8)	173 (180)
USA - Nhanes [52]	2011-2012	12-19 ans	389	10	NC	-	56,5 (54,6)	212 (163)
Allemagne GerES V [53]	2014-2017	3-17 ans	516	-	5	99%	85 (75)	330 (330)
Belgique HBM Wallonie [56]	2019-2020	12-19 ans	282	-	100	14,2	<100	200
Corée KoNEHS [55]	2015-2017	6-11 ans	864			58,2% (>LOD)	NC	933
Corée KoNEHS [55]	2015-2017	12-18 ans	866			61,8% (>LOD)	127	822
3-hydroxyphénanthrène (3-OH-PHE)								
France – Esteban	2014-2016	6-17 ans	398	2	5	100%	93 (90)	291 (245)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	6-11 ans	510			100% (>LOD)	85 (93)	330 (300)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	12-19 ans	497			100% (>LOD)	93 (68)	370 (220)
USA - Nhanes [52]	2011-2012	6-11 ans	397	10	NC	-	55,3 (79,6)	287 (238)
USA - Nhanes [52]	2011-2012	12-19 ans	389	10	NC	-	63,6 (61,5)	296 (229)
Allemagne GerES V [53]	2014-2017	3-17 ans	516	-	5	100%	131 (115)	410 (350)

4-hydroxyphénanthrène (4-OH-PHE)								
France – Esteban	2014-2016	6-17 ans	398	5	10	81,2%	19 (18)	63 (62)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	6-11 ans	510			97,7% (>LOD)	17 (19)	74 (75)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	12-19 ans	497			97,4% (>LOD)	21 (15)	110 (70)
USA - Nhanes [52]	2011-2012	6-11 ans	397	10	NC	-	17,1 (24,4)	72 (78,9)
USA - Nhanes [52]	2011-2012	12-19 ans	389	10	NC	-	20,4 (19,7)	84 (64,9)
Allemagne GerES V [53]	2014-2017	3-17 ans	516	-	1	99%	45 (40)	270 (260)
9-hydroxyphénanthrène (9-OH-PHE)								
France – Esteban	2014-2016	6-17 ans	398	5	10	98,0	34 (33)	92 (94)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	6-11 ans	464			100% (>LOD)	28 (31)	84 (a)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	12-19 ans	444			100% (>LOD)	30 (22)	92 (86)
Allemagne GerES V [53]	2014-2017	3-17 ans	516	-	5	97%	58 (50)	360 (260)
Chine [54]	2015	7-13 ans	1206	18	-	99,3% (>LOD)	2528	12730
∑ Phénanthrènes								
France - Esteban	2014-2016	6-17 ans	398	-	-	-	328 (320)	870 (825)
Allemagne GerES V [53]	2014-2017	3-17 ans	516	-	5	-	511 (448)	1800 (1560)

^a Donnée trop peu fiable pour être publiée ^b zone rurale de Chongqing NC : non calculé car 40 % des échantillons <LOD

4. RECHERCHE DES DÉTERMINANTS DES CONCENTRATIONS EN HAP DANS LES URINES CHEZ LES ENFANTS

Parmi les 7 familles d'HAP dosées dans Esteban, 4 (1-hydroxypyrene, fluorènes, naphthalènes, phénanthrènes) ont été suffisamment quantifiées pour chacun de ses métabolites hydroxylés (> 60 %) pour permettre la recherche des déterminants de l'imprégnation chez les enfants. La recherche des déterminants a donc été effectuée sur le 1-hydroxypyrene, la somme des fluorènes, la somme des naphthalènes et la somme des phénanthrènes.

Cette recherche a montré :

- une augmentation des niveaux de 1-hydroxypyrene de 23 % chez les filles par rapport aux garçons ;
- une influence de la fréquence d'aération du logement pendant le printemps ou l'été : ceux qui aèrent plus de 2 fois par jour ont des niveaux d'imprégnation par le 1-hydroxypyrene plus faibles que ceux qui aèrent 1 fois par semaine à plusieurs fois par semaine. Cependant, ce résultat est à interpréter avec précaution compte tenu du faible effectif d'enfants ;
- l'utilisation de l'encens 1 fois par mois ou plus tend à augmenter (38 %) les niveaux d'imprégnation par la somme des naphthalènes par rapport à ceux qui n'en utilisent pas.

Par ailleurs, plusieurs déterminants alimentaires de l'exposition aux HAP ont été testés lors de la modélisation mais n'ont pas montré d'associations avec les niveaux d'imprégnation chez les enfants.

Les résultats sont détaillés dans les deux tableaux ci-dessous (Tableaux 7 et 8) pour l'ensemble des déterminants.

La liste des variables testées dans les modèles multivariés est présentée en annexe II.

Tableau 7. Déterminants associés aux concentrations urinaires des métabolites d'HAP mesurés chez les enfants de 6 à 17 ans, Esteban (2014-2016), variables qualitatives

Variable qualitative	n (%) [†]	% de variation ^b et [IC95%] du % de variation			
		1-hydroxypyrrène	∑ Fluorènes	∑ Naphtalènes	∑ Phénanthrènes
Sexe					
Garçon	210 (50,01)	Référence	Référence	Référence	Référence
Fille	188 (49,99)	23,45 [6,82 ; 42,66]	0,55 [-13,49 ; 16,87]	9,54 [-11,03 ; 34,87]	9,29 [-4,90 ; 25,60]
Parents/représentant légal en couple					
Oui	358 (83,86)	Référence	Référence	Référence	Référence
Non	40 (16,14)	-15,39 [-33,54 ; 7,72]	1,52 [-19,6 ; 28,18]	-22,02 [-43,03 ; 6,74]	6,08 [-15,29 ; 32,83]
Ressenti financier du foyer					
« Vous êtes à l'aise »	75 (12,63)	Référence	Référence	Référence	Référence
« ça va »	157 (36,97)	3,84 [-13,3 ; 24,37]	-2,94 [-19,62 ; 17,19]	-10,74 [-31,12 ; 15,67]	-7,11 [-22,64 ; 11,53]
« C'est juste »	41 (13,90)	37,28 [3,25 ; 82,52]	6,66 [-18,16 ; 39,01]	0,36 [-32,18 ; 48,54]	13,3 [-14,17 ; 49,57]
« Il faut faire attention/difficile/dettes »	123 (36,50)	13,83 [-8,05 ; 40,92]	11,24 [-8,28 ; 34,91]	8,41 [-16,2 ; 40,23]	5,39 [-13,16 ; 27,91]
Consommation des produits en provenance du jardin (œufs, volaille)					
Pas de produits du jardin ou < 1 fois/mois	260 (71,8)	-	-	Référence	-
1 fois/mois ou plus	97 (28,20)	-	-	12,36 [-10,73 ; 41,43]	-
Fréquence d'aération du logement printemps/été					
Tous les jours plus de 2 fois	324 (83,34)	Référence	-	-	-
Tous les jours 1 à 2 fois	55 (12,90)	20,53 [-1,33 ; 47,24]	-	-	-
1 fois/semaine à plusieurs fois/semaine	19 (3,76)	50,08 [5,58 ; 113,33]	-	-	-
Type de combustible ou énergie utilisé pour se chauffer					
Electricité, gaz de ville, énergie renouvelable	306 (76,82)	-	-	-	Référence
Fioul, Bois, Charbon, Charbon de bois, Pétrole	92 (23,18)	-	-	-	10,83 [-7,38 ; 32,62]
Combustible principale pour chauffer l'eau					
Electricité, gaz de ville, énergie renouvelable	361 (91,44)	-	-	-	Référence
Fioul, Bois, Charbon, charbon de bois	37 (8,56)	-	-	-	9,17 [-12,72 ; 36,56]
Utilisation d'encens					
Jamais	249 (64,98)	-	-	Référence	-
Moins d'une fois/mois	84 (20,04)	-	-	-0,53 [-24,16 ; 30,48]	-
1 fois/mois ou plus	45 (14,98)	-	-	37,80 [-0,50 ; 90,85]	-
Utilisation de cheminées/poêles au cours de l'année					
Non	215 (53,91)	-	Référence	-	-
Oui	183 (46,09)	-	11,80 [-3,37 ; 29,34]	-	-

[†] n = effectif dans l'échantillon ; % dans la population

^b pourcentage de variation du niveau moyen d'imprégnation

^c Variable d'ajustement

Tableau 8. Déterminants associés aux concentrations urinaires des métabolites d'HAP mesurés chez les enfants de 6 à 17 ans, Esteban (2014-2016), variables quantitatives

Variable quantitative	P50 [P25 – P75]	Variation entre le P25 et le P75			
		% de variation ^a [IC95%] du % de variation			
		1-hydroxypyrene	∑ Fluorènes	∑ Naphtalènes	∑ Phénanthrènes
Âge du participant (années) ^b	11 [9 ; 14]	-8,8 [-24,63 ; 10,34]	-5,25 [-19,23 ; 11,13]	-11,3 [-28,89 ; 10,63]	-11,17 [-24,29 ; 4,22]
Log Créatinine (g. L ⁻¹) ^b	1,11 [0,76 ; 1,55]	49,74 [26,37 ; 77,43]	47,6 [24,14 ; 75,49]	43,06 [14,33 ; 79,01]	51,63 [29,01 ; 78,22]
Indice de masse corporelle IMC (kg/m ²)	17,95 [16,13 ; 20,56]	4,25 [-9,42 ; 19,99]	7,1 [-8,42 ; 25,25]	19,10 [-1,75 ; 44,37]	9,84 [-4,58 ; 26,44]
Consommation de fruits (g/jour)	91,54 [47,10 ; 142,62]	2,69 [-12,69 ; 20,79]	-	-	-
Consommation de charcuterie (g/jour) ^c	7,81 [5,77 ; 10,36]	4,48 [-5,28 ; 15,26]	6,53 [-3,58 ; 17,70]	14,16 [-4,40 ; 36,33]	5,65 [-4,46 ; 16,82]

^a Pourcentage de variation du niveau moyen d'imprégnation

^b Variable d'ajustement

^c Saucisson, saucisse sèche, chorizo, salami, andouille, jambon cru, bacon, lardons, poitrine, coppa...

5. RÉSULTATS DES ANALYSES DESCRIPTIVES DES NIVEAUX D'IMPRÉGNATION PAR LES HAP CHEZ LES ADULTES

Parmi les 2503 adultes âgés de 18 à 74 ans ayant fait l'objet du prélèvement urinaire, le dosage des HAP a été réalisé sur un échantillon aléatoire de 1 099 adultes disposant de 10 ml d'urines. Les analyses statistiques ont été réalisées sans exclure les participants ayant une concentration en créatinine $< 0,3 \text{ g. L}^{-1}$ ou $> 3 \text{ g. L}^{-1}$ ainsi que ceux ayant déclaré fumé dans les 2 heures précédant le recueil urinaire.

5.1 Résultats du dosage chez les adultes

Niveaux de la créatinine urinaire et d'imprégnation par les HAP chez les adultes

Les concentrations moyennes et les valeurs extrêmes de la créatinine urinaire mesurées dans l'échantillon des adultes de l'étude Esteban sont présentées dans le tableau 9. La concentration moyenne de la créatinine urinaire mesurée chez les 1 099 adultes âgés de 18 à 74 ans, ayant fait l'objet du dosage des métabolites des hydrocarbures aromatiques polycycliques, était de $0,84 \text{ g. L}^{-1}$.

Tableau 9. Valeurs moyennes, minimales et maximales de la créatinine urinaire en g. L^{-1} chez les adultes dans Esteban

Concentration de créatinine (g. L^{-1})	n	Minimum	Moyenne	P99	Maximum
Adultes (18-74 ans)	1099	0,03	0,84	2,56	3,41

Les résultats d'imprégnation par les 21 molécules d'HAP dosées dans l'étude Esteban chez les adultes inclus dans l'étude entre avril 2014 et mars 2016, exprimés en ng. L^{-1} et en $\text{ng.}^{\circ}\text{g}^{-1}$ de créatinine sont présentés dans les tableaux 10 et 11.

Les taux de quantification ($\%>\text{LOQ}$) étaient variables selon les familles d'HAP. Comme chez les enfants, on observe que le 3-hydroxybenzo[a]pyrène, le 1-hydroxybenz[a]anthracène (biomarqueur d'exposition du benzo[a]pyrène), le Σ 3-9-hydroxybenz[a]anthracène, les métabolites des chrysènes et le 3-hydroxyfluoranthène n'étaient pas quantifiés dans les échantillons analysés. Le 1-hydroxypyrene, les métabolites des naphthalènes, les métabolites des fluorènes et les métabolites des phénanthrènes étaient quant à eux très bien quantifiés ($\%>\text{LOQ}$ entre 80 et 100 %), ce qui montre que la quasi-totalité des adultes en France continentale était imprégnée par ces HAP.

La concentration moyenne (MG) du 1-hydroxypyrene dans les urines des adultes était égale à $91,1 \text{ ng. L}^{-1}$ ($123,9 \text{ ng. g}^{-1}$ de créatinine) et le percentile 95 de la distribution était égale à $482,3 \text{ ng. L}^{-1}$ ($524,0 \text{ ng. g}^{-1}$ de créatinine). On n'observe pas de différence d'imprégnation selon le sexe, cependant les personnes plus âgées (60-74 ans) avaient une concentration moyenne de $52,4 \text{ ng. L}^{-1}$ quand les plus jeunes (18-29 ans) avaient une moyenne égale à $133,3 \text{ ng. L}^{-1}$.

Aussi les fumeurs sont plus imprégnés (MG= $202,3 \text{ ng. L}^{-1}$) que les non-fumeurs non exposés au tabac passif (MG= $66,7 \text{ ng. L}^{-1}$).

Parmi les HAP analysés, tout comme chez les enfants, les concentrations en HAP les plus élevées étaient retrouvées pour les naphthalènes, en particulier le 2-hydroxynaphthalène. La MG

de ce dernier était égale à $4^{\circ}380,8 \text{ ng. L}^{-1}$ ($5^{\circ}954,7 \text{ ng.}^{\circ}\text{g}^{-1}$ de créatinine) et le percentile 95 était égal à $26^{\circ}525,0 \text{ ng. L}^{-1}$ ($30^{\circ}072,0 \text{ ng.}^{\circ}\text{g}^{-1}$ de créatinine).

Les distributions des concentrations en HAP par sexe, classes d'âges et par statut tabagique chez les adultes sont présentés en annexe I de cette note.

Concernant la somme des naphthalènes urinaires, le niveau moyen dans la population adulte en France continentale était de $6^{\circ}011,2 \text{ ng.}^{\circ}\text{L}^{-1}$. Chez les fumeurs il était de $17^{\circ}926,0 \text{ ng.}^{\circ}\text{L}^{-1}$, alors que chez les anciens fumeurs ce niveau était de $4^{\circ}301,5 \text{ ng.}^{\circ}\text{L}^{-1}$ et de $4^{\circ}138,0 \text{ ng. L}^{-1}$ chez les non-fumeurs et non exposés au tabac passif.

Tableau 10. Distribution des concentrations urinaires en hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) en ng. L⁻¹ des adultes âgés de 18 à 74 ans, France continentale (2014-2016)

Biomarqueurs (ng.°L ⁻¹)	n	%>LOQ	MG	IC à 95 % MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95 % P95
Pyrènes											
1-hydroxypyrene	1099	97,2	91,1	[83,6 ; 99,3]	29,5	47,7	85,2	172,5	331,3	482,3	[399,3 ; 576,6]
3-hydroxybenzo[a]pyrene	1099	2,4	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Naphtalènes											
1-hydroxynaphtalène	1099	99,8	1012,7	[878,6 ; 1167,3]	216,5	339,6	663,8	2559,9	10858,0	16552,0	[14252,3 ; 19486,0]
2-hydroxynaphtalène	1099	99,9	4380,8	[3945,3 ; 4864,5]	1010,2	1907,8	4236,1	10061,0	20229,0	26525,0	[23516,1 ; 29720,7]
∑ Naphtalènes	1099		6011,2	[5402,9 ; 6688,0]	1388,7	2507,5	5457,5	14953,0	29387,0	41344,0	[35501,2 ; 47814,2]
Anthracènes											
1-Hydroxybenz[a]anthracène	1099	0,0	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
∑3-9 Hydroxybenz[a]anthracène	1099	0,0	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Chrysènes											
1-hydroxychrysène	1099	0,0	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
2-hydroxychrysène	1099	0,1	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
3-hydroxychrysène	1099	0,0	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
4-hydroxychrysène	1099	0,0	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
6-hydroxychrysène	1099	0,0	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
5-methylchrysène	1099	0,0	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Fluoranthènes											
3-hydroxyfluoranthène	1099	3,9	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Fluorènes											
2-hydroxyfluorène	1099	100	272,2	[245,6 ; 301,6]	77,6	126,1	225,27	533,6	1437,5	2078,2	[1760,0 ; 2364,4]
3-hydroxyfluorène	1099	100	98,5	[86,5 ; 112,0]	23,1	37,8	70,16	206,7	919,2	1312,6	[1092,1 ; 1611,6]
9-hydroxyfluorène	1099	100	348,4	[324,1 ; 374,6]	126,1	207,3	336,4	566,8	986,3	1462,7	[1223,8 ; 1683,5]
∑ Fluorènes	1099		786,8	[718,6 ; 861,4]	254,4	399,8	671,5	1489,60	3248,5	4920,9	[4544,9 ; 5615,0]
Phénanthrènes											
1-hydroxyphénanthrène	1099	99,9	148,6	[138,8 ; 159,1]	56,1	86,3	140,2	251,9	421,6	595,5	[502,2 ; 718,6]
2-hydroxyphénanthrène	1099	100	69,5	[65,4 ; 73,8]	29,4	42,6	64,7	105,2	177,1	262,6	[226,2 ; 293,4]
3-hydroxyphénanthrène	1099	100	101,2	[93,98 ; 108,9]	37,3	57,6	94,5	171,8	322,0	459,5	[371,1 ; 575,0]
4-hydroxyphénanthrène	1099	79,9	21,9	[20,3 ; 23,7]	<LOQ	12,1	20,8	39,2	69,7	95,6	[85,7 ; 113,4]
9-hydroxyphénanthrène	1099	98,0	56,4	[51,7 ; 61,5]	18,3	29,1	48,7	104,4	229,9	343,8	[291,1 ; 404,7]
∑ Phénanthrènes	1099		416,5	[388,9 ; 446,1]	163,0	239,7	382,8	682,7	1204,5	1654,6	[1504,2 ; 1936,7]

NC : non calculé en raison du taux de censure élevé (%>LOQ inférieur à 60 %)

Tableau 11. Distribution des concentrations urinaires en hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) en ng. g⁻¹ des adultes âgés de 18 à 74 ans, France continentale (2014-2016)

Biomarqueurs (ng. g ⁻¹)	n	%>LOQ	MG	IC à 95 % MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95 % P95
Pyrènes											
1-hydroxypyrrène	1099	97,2	123,9	[115,17 ; 133,2]	43,90	69,8	117,15	213,47	373,7	523,98	[444,08 ; 639,9]
3-hydroxybenzo[a]pyrrène	1099	2,4	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Naphtalènes											
1-hydroxynaphtalène	1099	99,8	1376,5	[1200,8 ; 1578,0]	267,9	466,1	1003,4	3457,0	14216,0	20067,0	[17702,1 ; 23609,8]
2-hydroxynaphtalène	1099	99,9	5954,7	[5442,0 ; 6515,7]	1583,0	2874,7	5393,9	12718,0	22539,0	30072,0	[27506,94 ; 35224,4]
∑ Naphtalènes	1099		8170,8	[7432,3 ; 8982,6]	2166,3	3570,3	7088,5	18470,0	36023,0	51331,0	[43820,6 ; 57942,8]
Anthracènes											
1-Hydroxybenz[a]anthracène	1099	0,0	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
∑ 3-9 Hydroxybenz[a]anthracène	1099	0,0	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Chrysènes											
1-hydroxychrysène	1099	0,0	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
2-hydroxychrysène	1099	0,1	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
3-hydroxychrysène	1099	0,0	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
4-hydroxychrysène	1099	0,0	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
6-hydroxychrysène	1099	0,0	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
5-methylchrysène	1099	0,0	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Fluoranthènes											
3-hydroxyfluoranthène	1099	3,9	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Fluorènes											
2-hydroxyfluorène	1099	100	369,9	[337,0 ; 406,1]	121,0	173,9	305,4	673,44	1666,9	2346,2	[2070,7 ; 2665,0]
3-hydroxyfluorène	1099	100	133,8	[118,8 ; 150,8]	35,0	51,1	100,8	269,4	1113,3	1649,0	[1389,6 ; 1842,1]
9-hydroxyfluorène	1099	100	473,6	[442,1 ; 507,3]	178,3	271,4	457,4	760,9	1258,0	1871,1	[1512,5 ; 2281,0]
∑ Fluorènes	1099		1069,4	[985,1 ; 1161,0]	372,5	550,8	951,6	1880,9	3948,9	5464,0	[4875,1 ; 6072,4]
Phénanthrènes											
1-hydroxyphénanthrène	1099	99,9	202,0	[189,8 ; 214,9]	82,3	117,7	192,8	343,9	497,8	678,0	[597,3 ; 756,6]
2-hydroxyphénanthrène	1099	100	94,5	[88,6 ; 100,7]	41,0	56,8	88,3	146,4	237,5	312,1	[278,9 ; 359,3]
3-hydroxyphénanthrène	1099	100	137,5	[128,1 ; 147,6]	53,7	78,5	127,6	217,5	373,2	557,2	[466,0 ; 642,3]
4-hydroxyphénanthrène	1099	79,9	29,8	[27,6 ; 32,14]	10,5	16,9	28,8	52,6	84,3	118,6	[97,5 ; 138,1]
9-hydroxyphénanthrène	1099	98,0	76,6	[70,3 ; 83,0]	23,5	38,9	69,3	143,5	283,9	379,4	[335,7 ; 421,9]
∑ Phénanthrènes	1099		566,2	[529,8 ; 605,0]	235,9	328,5	531,5	927,7	1465,0	1938,6	[1666,1 ; 2225,0]

Niveaux élevés : comparaisons des valeurs seuils chez les adultes

11 adultes dont 6 femmes, âgés de 18 à 60 ans présentaient des niveaux de 1-hydroxypyrene supérieurs au percentile 99 de la distribution urinaire du 1-hydroxypyrene chez les adultes (P99 = 975,5 ng. L⁻¹). Huit ont déclaré être des fumeurs, 1 ex-fumeur et 2 non-fumeurs mais exposés au tabagisme passif, 1 seul a déclaré être en contact avec une ou plusieurs substances exposantes aux HAP sur son lieu de travail. Concernant le mode de cuisson, 6 avaient déclaré l'usage du barbecue au bois mais pas exclusivement.

La valeur maximale d'imprégnation était égale à 2 140,5 ng. L⁻¹. Il s'agissait d'une femme, ex-fumeuse, de la classe d'âge 30-44 ans, ses données de consommations alimentaires n'étant pas connues. Concernant son ressenti financier, elle avait déclaré faire attention/y arriver difficilement ou avec des dettes et habiter à 200 mètres autour d'incinérateurs de déchets ou de décharge de déchets ou de voies routières à grande circulation.

Dans Esteban, le P99 de la somme des naphthalènes étudiés était égal à 76 456,6 ng. L⁻¹. Quinze adultes dont 10 femmes, âgés de 18 à 68 ans avaient des niveaux d'imprégnation par les naphthalènes supérieurs au P99. Parmi ces 15 adultes, 9 étaient des fumeurs, 9 utilisaient un barbecue au bois pour la cuisson de la viande et 6 habitaient à 200 mètres autour d'incinérateurs de déchets ou de décharge de déchets ou de voies routières à grande circulation. Tous ont déclaré habiter en zone résidentielle ou commerçante ou industrielle et enfin 5 utilisaient une cheminée ou un poêle pour se chauffer.

Concernant la famille des phénanthrènes, 10 adultes âgés de 27 à 72 ans dont 4 hommes avaient des niveaux d'imprégnation supérieurs au percentile 99 de la distribution (P99=2 926, 1 ng. L⁻¹). Huit d'entre eux utilisaient un barbecue pour la cuisson de la viande dont 6 au bois. Deux avaient une consommation de charcuterie supérieure au P75 (=12 g/j) ; 4 une consommation plus élevée de matières grasses (huile et beurre) (>P75=29,5 g/j) ; 9 ont déclaré habiter en zone résidentielle ou commerçante ou industrielle ; 5 habitaient à 200 mètres autour d'incinérateurs de déchets ou de décharge de déchets ou de voies routières à grande circulation.

Enfin, concernant les fluorènes, 10 adultes (18-63 ans) dont 5 hommes avaient des niveaux d'imprégnation supérieurs au P99 (8 379,8 ng. L⁻¹). La concentration maximale était de 18 730,6 ng. L⁻¹ et concernait une femme appartenant à la classe d'âge 30-44 ans de 37 ans. Les caractéristiques de ses adultes étaient similaires à celles observées pour les autres familles d'HAP.

5.2 Niveaux d'imprégnation par les HAP mesurés dans les études antérieures chez les adultes

Études conduites en France

Il n'existe pas d'étude antérieure avec une représentativité nationale ayant mesuré l'imprégnation par les HAP chez les adultes. L'étude Esteban fournit ainsi les premiers résultats des niveaux d'imprégnation par les métabolites de HAP des adultes vivant en France.

Études conduites à l'étranger

Les principales études ayant mesuré en population générale les niveaux d'exposition aux métabolites des HAP sur des classes d'âges similaires à Esteban et sur des effectifs suffisants pour permettre des comparaisons sont présentées dans le tableau 12.

- Concernant le 1-hydroxypyrrène, le niveau moyen observé en France (MG) était similaire à celui observé au Canada (ECMS 2014-2015, Enquête canadienne sur les mesures de santé). La MG en France était cependant inférieure à celle observée aux États-Unis (Nhanes National Health and Nutrition Examination Survey), en Corée et en Espagne.
- Concernant le 1-hydroxynaphtalène, la France a un niveau moyen inférieur à celui des États-Unis, mais comparable à celui du Canada. Cependant pour le 2-hydroxynaphtalène, le niveau moyen français est similaire à celui des américains mais légèrement inférieur à celui des Canadiens et nettement inférieur à celui de l'Espagne.
- Concernant la famille des fluorènes, la France a un niveau comparable à celui de l'Amérique du Nord pour le 9-hydroxyfluorène.
- Enfin pour les phénanthrènes, la France a un niveau moyen similaire à celui du Canada et des États-Unis mais supérieur à celui des États-Unis pour le 1-hydroxyphénanthrène et le 3-hydroxyphénanthrène.

Tableau 12. Comparaison des concentrations urinaires moyennes des métabolites d'HAP (ng. L⁻¹ et ng. g⁻¹ de créatinine) observées chez les adultes de 18 à 74 ans en France et à l'étranger

Pays/ étude	Année d'étude	Population	N	LOD (ng.L ⁻¹)	LOQ (ng.L ⁻¹)	%>LOQ (%>LOD)	MG en ng.L ⁻¹ (ng.g ⁻¹ de créatinine)	P95 en ng.L ⁻¹ (ng.g ⁻¹ de créatinine)
1-hydroxypyrrène (1-OH-PY)								
France – Esteban	2014-2016	18-74 ans	1099	5	10	97,2%	91 (124)	482 (524)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	20-39 ans	329			100 (>LOD)	120 (96)	550 (230)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	40-59 ans	293			100 (>LOD)	95 (86)	870 (360)
USA - Nhanes [52]	2013-2014	20 ans et plus	1802	7	NC	-	128 (150)	656 (543)
Corée - KoNEHS [57]	2012-2014	20 ans et plus	6418	ND	ND	97,22 (>LOD)	150	620
Espagne - BIOAMBIENT.ES [58]	2009-2010	16-65 ans	957	ND	30	87,5%	164 (117)	980 (670)
Espagne ^a [59]	2015	20-45 ans femmes	110	-	10	100%	120 (130)	410 (410)
Italie (Turin) [60]	2013	35-69	367			99,9%	(87,3)	(364)
Belgique HBM Wallonie [56]	2019-2020	12-39 ans	543	-	150	17,7%	<150	330
1-hydroxynaphtalène (1-OH-NA)								
France – Esteban	2014-2016	18-74 ans	1099	15	50	99,8%	1013 (1377)	16552 (20067)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	20-39 ans	358			98,6 (>LOD)	1100 (840)	11000 (7700)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	40-59 ans	311			98,4 (>LOD)	1100 (1000)	20000 (14000)
USA - Nhanes [52]	2013-2014	20 ans et plus	1792	60	NC	-	1710 (2000)	25400 (23900)
Espagne ^a [59]	2015	20-45 ans femmes	110	-	10	96%	800 (800)	5700 (7600)
Italie (Turin) [60]	2013	35-69	366			100%	(1290)	(14000)
2-hydroxynaphtalène (2-OH-NA)								
France – Esteban	2014-2016	18-74 ans	1099	15	50	99,9%	4381 (5955)	26525 (30072)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	20-39 ans	354			100 (>LOD)	5600 (4500)	29000 (14000)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	40-59 ans	311			100 (>LOD)	4900 (4500)	29000 (19000)
USA – Nhanes [52]	2013-2014	20 ans et plus	1793	90	NC	-	4240 (4980)	30300 (22600)
Corée - KoNEHS [57]	2012-2014	20 ans et plus	6410	ND	ND	98,8 (>LOD)	2220	20300
Espagne ^a [59]	2015	20-45 ans femmes	110	-	10	100%	7100 (7200)	31200 (24600)
Italie (Turin) [60]	2013	35-69	367			100%	(4637)	(19300)
2-hydroxyfluorène (2-OH-FL)								
France – Esteban	2014-2016	18-74 ans	1099	2	5	100	272 (370)	2078, (2346)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	20-39 ans	359			100 (<LOD)	340 (270)	2300 (1500)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	40-59 ans	312			100 (>LOD)	310 (280)	NP (2200)
USA - Nhanes [52]	2013-2014	20 ans et plus	1802	8	NC	-	190 (222)	1820 (1610)
Corée - KoNEHS [57]	2012-2014	20 ans et plus	6397	ND	ND	92,90 (>LOD)	270	1950
Espagne ^a [59]	2015	20-45 ans femmes	110	-	10	98%	170 (180)	1150 (960)
Italie (Turin area) [60]	2013	35-69	367			99,5%	(229)	(1510)

Belgique HBM Wallonie [56]	2019-2020	20-39 ans	261	-	100	17,6	<100	2020
3-hydroxyfluorène (3-OH-FL)								
France – Esteban	2014-2016	18 -74 ans	1099	2	5	100	98 (134)	1313 (1649)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	20-39 ans	358			100 (>LOD)	120 (97)	1400 (880)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	40-59 ans	311			100 (>LOD)	120 (110)	NP (1600)
USA - Nhanes [52]	2013-2014	20 ans et plus	1802	8	NC	-	82,6 (96,7)	1210 (1060)
Espagne ^a [59]	2015	20-45 ans femmes	110	-	50	70%	130 (130)	1010 (840)
Italie (Turin area) [60]	2013	35-69 ans	367			98,4%	(84,9)	(1000)
Belgique HBM Wallonie [56]	2019-2020	20-39 ans	261	-	100	16,9	<100	1270
9-hydroxyfluorène (9-OH-FL)								
France – Esteban	2014-2016	18 -74 ans	1099	5	10	100	348 (474)	1463 (1871)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	20-39 ans	359			100	190 (150)	800 (670)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	40-59 ans	312			100 (>LOD)	160 (140)	800 (760)
USA - Nhanes [52]	2011-2012	20 ans et plus	1706	10	NC	-	265 (301)	1700 (1480)
Italie (Turin area) [60]	2013	35-69 ans	367			100	(518)	(1610)
Belgique HBM Wallonie [56]	2019-2020	12-39 ans	543	-	100	49,2	140	1430
1-hydroxyphénanthrène (1-OH-PHE)								
France – Esteban	2014-2016	18 -74 ans	1099	2	5	99,9	149 (202)	596 (678)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	20-39 ans	358			100 (>LOD)	170 (140)	760 (430)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	40-59 ans	312			100 (>LOD)	160 (140)	680 (490)
USA - Nhanes [52]	2013-2014	20 ans et plus	1802	9	NC	-	96,1 (113)	454 (364)
Italie (Turin area) [60]	2013	35-69 ans	367			98,9%	(154)	(406)
Corée - KoNEHS [57]	2012-2014	20 ans et plus	6413	ND	ND	79 (>LOD)	100	360
Espagne ^a [59]	2015	20-45 ans femmes	110	-	10	98%	140 (150)	700 (620)
Belgique HBM Wallonie [56]	2019-2020	12-39 ans	543	-	100	57,8	130	620
2-hydroxyphénanthrène (2-OH-PHE)								
France – Esteban	2014-2016	18 -74 ans	1099	2	5	100	69 (94)	263 (312)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	20-39 ans	357			100 (>LOD)	72 (57)	260 (160)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	40-59 ans	312			100 (>LOD)	63 (58)	300 (220)
USA - Nhanes [52]	2011-2012	20 ans et plus	1703	10	NC	-	64,5 (73,3)	311 (280)
Espagne ^a [59]	2015	20-45 ans femmes	110	-	10	95%	60 (60)	200 (250)
Italie (Turin area) [60]	2013	35-69 ans	367			97,8%	(70,6)	(196)
Belgique HBM Wallonie [56]	2019-2020	20-39 ans	261	-	100	27,6	<100	260
3-hydroxyphénanthrène (3-OH-PHE)								
France – Esteban	2014-2016	18 -74 ans	1099	2	5	100	101 (138)	460 (557)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	20-39 ans	357			100 (>LOD)	95 (76)	440 (230)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	40-59 ans	312			100 (>LOD)	88 (80)	NP (340)

USA - Nhanes [52]	2011-2012	20 ans et plus	1705	10	NC	-	62,4 (71)	413 (334)
Espagne ^a [59]	2015	20-45 ans femmes	110	-	10	99%	90 (90)	350 (300)
Italie (Turin area) [60]	2013	35-69 ans	367			100	(106)	(348)
Belgique HBM Wallonie [56]	2019-2020	12-39 ans	543	-	100	42,2	100	550
4-hydroxyphénanthrène (4-OH-PHE)								
France – Esteban	2014-2016	18 -74 ans	1099	5	10	79,9	22 (30)	96 (119)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	20-39 ans	358			96,9 (>LOD)	27 (21)	130 (88)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	40-59 ans	311			98,1 (>LOD)	23 (21)	NP (110)
USA - Nhanes [52]	2011-2012	20 ans et plus	1701	10	NC	-	21 (23,8)	101 (115)
Italie (Turin area) [60]	2013	35-69 ans	367			52,0	(29,9)	(105)
Espagne ^a [59]	2015	20-45 ans femmes	110	-	10	92%	40 (40)	160 (170)
Belgique HBM Wallonie [56]	2019-2020	12-39 ans	543	-	100	16,8	<100	260
9-hydroxyphénanthrène (9-OH-PHE)								
France – Esteban	2014-2016	18 -74 ans	1099	5	10	98,0	56 (77)	344 (379)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	20-39 ans	344			100 (>LOD)	48 (39)	320 (250)
Canada ECMS-4 [51]	2014-2015	40-59 ans	302			100 (>LOD)	50 (46)	NP (330)
Espagne ^a [59]	2015	20-45 ans femmes	110	-	10	90%	80 (90)	440 (470)
∑ Phénanthrènes (1-OH-PHE + 2-OH-PHE + 3-OH-PHE + 4-OH-PHE + 9-OH-PHE)								
France – Esteban	2014-2016	18 -74 ans	1099	-	-	-	417 (566)	1655 (1939)
Espagne - BIOAMBIENT.ES [58]	2009-2010	16-65 ans	957	ND	50	63,7	(130)	1650 (1290)

^a Femmes allaitantes BETTERMILK Project. Recueil urinaire 2 à 8 semaines après l'accouchement.
 ND : Non disponible

NP : la donnée est trop peu fiable pour être publiée

* ECMS : plus de 40% des échantillons étaient < à la LOD.

6. RECHERCHE DES DÉTERMINANTS DES CONCENTRATIONS EN HAP DANS LES URINES CHEZ LES ADULTES

Parmi les 7 familles d'HAP dosées dans Esteban, la recherche des déterminants de l'exposition a été effectuée sur 4 familles d'HAP suffisamment quantifiées (LOQ>60 %). Il s'agit : du 1-hydroxypyrene ; de la somme des fluorènes, de la somme des naphthalènes et de la somme des phénanthrènes.

Cette recherche pour les variables qualitatives a montré :

- une augmentation importante des niveaux d'imprégnation par les HAP chez les fumeurs, avec une augmentation allant de 95 % pour la somme des phénanthrènes jusqu'à 260% pour la somme des fluorènes ;
- une variation des niveaux d'imprégnation selon le sexe. Les hommes sont moins imprégnés que les femmes avec une diminution allant de 14 à 30 % ;
- une diminution des niveaux d'imprégnation par les HAP selon le niveau d'études ;
- une variation selon la saison pendant laquelle le recueil des urines a été réalisé ;
- une augmentation selon la fréquence d'utilisation du barbecue.

En ce qui concerne les variables quantitatives, une variation des niveaux d'imprégnation par les HAP a été observée pour :

- la consommation des matières grasses (huile, beurre...) avec une augmentation de 8 % environ pour le 1-hydroxypyrene, la somme des fluorènes et la somme des phénanthrènes ;
- la consommation de charcuterie avec une tendance à l'augmentation des niveaux des fluorènes (+8 %) ;
- la consommation de viennoiseries et de viandes avec une tendance à l'augmentation des niveaux de naphthalènes ;
- le fait de vivre à 50 mètres autour des commerces utilisant des solvants mais pas exclusivement avec une augmentation des niveaux de fluorènes.

Les résultats des analyses multivariées sont détaillés dans les deux tableaux ci-dessous (Tableaux 13 et 14) pour l'ensemble des variables.

La liste des variables testées dans les modèles multivariés est présentée en annexe.

Tableau 13. Déterminants associés aux concentrations urinaires en HAP (variables qualitatives) chez les adultes de 18 à 74 ans, Esteban (2014-2016)

Variable qualitative	n (%)†	% de variation et [IC95%]			
		1-hydroxypyrrène	∑ Fluorènes	∑ Naphtalènes	∑ Phénanthrènes
Sexe*					
Femme	641 (52,33)	Référence	Référence	Référence	Référence
Homme	458 (47,67)	-18,19 [-28,18 ; -6,81]	-2,92 [-13,62 ; 9,10]	-29,68 [-40,87 ; -16,39]	-13,9 [-23,2 ; -3,46]
Présence d'enfant dans le foyer* :					
Pas d'enfant de moins de 18 ans	753 (63,96)	Référence	Référence	Référence	Référence
Au moins un enfant de moins de 18 ans	346 (36,04)	3,57 [-9,18 ; 18,11]	3,91 [-7,08 ; 16,20]	15,05 [-1,49 ; 34,37]	-0,02 [-9,83 ; 10,86]
Diplôme*					
Aucun diplôme, CEP, BEP, BEPC, CAP, Brevet élémentaire, brevet de compagnon	315 (47,91)	Référence	Référence	Référence	Référence
BAC Techno, général	220 (20,46)	-21,96 [-35,61 ; -5,42]	-15,13 [-26,7 ; -1,74]	-11,95 [-27,07 ; 6,31]	-15,57 [-26,33 ; -3,24]
1 ^{er} cycle	252 (15,00)	-20,03 [-33,49 ; -3,84]	-20,55 [-31,75 ; -7,52]	-21,47 [-35,8 ; -3,94]	-15,81 [-27,01 ; -2,90]
2 ^{ème} cycle	312 (16,62)	-8,79 [-22,51 ; 7,36]	-9,36 [-20,49 ; 3,34]	-20,52 [-32,97 ; -5,76]	-3,61 [-15,12 ; 9,46]
Saisonnalité					
Hiver : 21 décembre au 20 mars	281 (25,61)	Référence	-	Référence	Référence
Automne : 21 sept au 20 décembre	344 (26,38)	-1,72 [-15,68 ; 14,56]	-	-16,62 [-31,50 ; 1,48]	3,16 [-8,96 ; 16,89]
Été : 21 juin au 20 septembre	229 (22,93)	-10,6 [-23,34 ; 4,26]	-	-29,91 [-42,95 ; -13,89]	-1,21 [-13,51 ; 12,84]
Printemps : 21 mars au 20 juin	240 (25,08)	17,37 [-0,88 ; 38,98]	-	-4,71 [-22,29 ; 16,85]	17,91 [4,07 ; 33,59]
Statut tabagique					
Non-fumeurs, exposés ou non au tabagisme passif	586 (53,33)	Référence	Référence	Référence	Référence
Ex-fumeurs	288 (24,89)	12,22 [-2,83 ; 29,60]	11,93 [-2,54 ; 28,55]	1,21 [-16,07 ; 22,06]	11,34 [-1,93 ; 26,41]
Fumeurs	225 (21,79)	145,47 [108,28 ; 189,29]	260,52 [209,46 ; 320,01]	249,41 [188,58 ; 323,06]	95,36 [71,84 ; 122,1]
Habitation à 50 mètres autour de :					
Aucune de ces sources	896 (79,39)	-	Référence	-	Référence
Garage/station-service/entreprise/commerce travaillant le métal	123 (12,23)	-	-4,60 [-20,81 ; 14,93]	-	-4,21 [-17,45 ; 11,14]
Commerce utilisant des solvants mais non exclusif	77 (8,38)	-	38,86 [11,02 ; 73,67]	-	22,97 [-3,48 ; 56,67]
Utilisation de barbecue : nombre de fois/semaine sur l'année					
0 fois/semaine	275 (22,01)	-	-	Référence	-

>0 et <1 fois/semaine	437 (38,93)	-	-	2,91 [-14,68 ; 24,13]	-
>=1 et <2 fois/semaine	211 (23,13)	-	-	36,82 [7,27 ; 74,52]	-
>=2 fois/semaine	131 (15,93)	-	-	15,93 [-8,16 ; 46,34]	-
Consommation de fruits issus du jardin					
Non	707 (69,87)	-	-	-	Référence
Oui	271 (30,13)	-	-	-	-6,80 [-15,66 ; 2,99]
Utilisation de cheminées/poêles au cours de l'année					
Non	663 (60,62)	-	-	Référence	-
Oui	433 (39,38)	-	-	-16,73 [-27,9 ; -3,83]	-

† n = effectif dans l'échantillon ; % dans la population
Variable d'ajustement

Tableau 14. Déterminants associés aux concentrations urinaires en HAP (variables quantitatives) chez les adultes de 18 à 74 ans, Esteban (2014-2016)

Variable quantitative	P50 [P25 – P75]	Variation entre le P25 et le P75			
		% de variation ^a [IC95%] du % de variation			
		1-hydroxypyrene	∑ Fluorènes	∑ Naphtalènes	∑ Phénanthrènes
Âge du participant (années) ^b	48 [35,42 ; 59]	-23,76 [-33,49 ; -12,59]	-6,48 [-16,43 ; 4,66]	-6,79 [-21,54 ; 10,74]	-0,71 [-10,3 ; 9,91]
Log Créatinine g. L ⁻¹	-0,23 [-0,8 ; 0,2]	88,6 [73,63 ; 104,86]	74,93 [62,76 ; 88,00]	87,82 [70,34 ; 107,09]	78,38 [67,52 ; 89,94]
Indice de masse corporelle IMC kg/m ²	25,1 [22,26 ; 28,63]	-0,02 [-10,37 ; 11,53]	-0,97 [-9,24 ; 8,06]	7,78 [-5,56 ; 23,01]	-2,41 [-10,38 ; 6,27]
Consommation de biscuits, gâteaux et pâtisseries (g/jour)	36,95 [24,48 ; 55,35]	-	-	-	-6,15 [-12,19 ; 0,31]
Consommation de Viennoiseries ^c (g/jour)	7,23 [5,01 ; 14,15]	-	-	7,37 [-0,77 ; 16,16]	-
Consommation de viandes ^d (g/jour)	70,00 [56,00 ; 87,37]	-	-	12,50 [-0,55 ; 27,27]	7,35 [-1,26 ; 16,72]
Consommation de matières grasses ^e (g/jour)	23,46 [17,57 ; 29,50]	8,4 [-0,44 ; 18,03]	8,48 [0,16 ; 17,49]	-	8,59 [1,54 ; 16,12]
Consommation de charcuterie ^f . (g/jour)	8,51 [5,93 ; 12,71]	7,14 [-1,56 ; 16,62]	8,32 [-0,76 ; 18,23]	-	5,85 [-3,84 ; 16,51]

^a Pourcentage de variation du niveau moyen d'imprégnation

^b Variable d'ajustement

^c Croissants, pains au chocolat, chaussons aux pommes, pains aux raisins mer

^d Bœuf, veau, steak, agneau, mouton, porc, jambon

^e Huile, beurre, margarine y compris dans les sauces (vinaigrettes...) et les cuissons

^f Saucisson, saucisse sèche, chorizo, salami, andouille, jambon cru, bacon, lardons, poitrine, coppa...

7. DISCUSSION

L'expression de la concentration d'une substance chimique par gramme de créatinine permet de tenir compte des effets de la dilution urinaire ainsi que de certaines différences physiologiques : fonction rénale, masse maigre de l'organisme [47, 61]. L'excrétion de la créatinine peut varier selon l'âge, le sexe et l'origine ethnique. Il n'est pas conseillé de comparer les concentrations corrigées en fonction de la créatinine de différents groupes démographiques (ex : adultes / enfants, hommes / femmes, ...) [47].

Le guide de l'OMS de 1996 : « Biological Monitoring of Chemical Exposure in the Workplace » (population adulte exposée professionnellement) recommande d'exclure les individus ayant des concentrations en créatinine $< 0,3 \text{ g. L}^{-1}$ ou $> 3 \text{ g. L}^{-1}$ des analyses statistiques dans les études de biosurveillance. La commission allemande de biosurveillance humaine (Standardisation of Substance Concentrations in Urine - Creatinine, 2005) a fait la même recommandation. Cet intervalle convient principalement comme critère d'évaluation pour une population active dans le cadre de l'évaluation de l'exposition professionnelle. L'excrétion de la créatinine peut s'avérer significativement plus faible, en particulier chez les enfants et les personnes âgées. De ce fait, en population générale, on peut retrouver une fréquence plus importante d'échantillons d'urines dont les concentrations en créatinine sont inférieures à $0,3 \text{ g. L}^{-1}$.

Santé Canada observe de grandes variations en créatinine à la hausse ou à la baisse, dépendant du cycle d'ECMS. Selon le programme américain NHANES, il semble que ces variations soient attendues⁵. Santé Canada n'a pas appliqué la recommandation de l'OMS et de la commission allemande d'exclure ces individus. Ces données sont donc présentées dans les résultats de leurs rapports.

L'équipe de NHANES n'a exclu aucun résultat, non plus, basé sur les concentrations en créatinine inférieures à $0,3 \text{ g. L}^{-1}$ ou supérieures à 3 g. L^{-1} dans les tableaux descriptifs de leurs rapports⁶. D'un autre côté, dans les analyses statistiques utilisées pour étudier les associations entre exposition et effets sur la santé et en fonction de la variable étudiée, elle suit les recommandations de l'OMS.

Au vu du nombre important de sujets potentiellement concernés par l'exclusion, nous avons décidé comme les programmes étrangers nord-américains de ne pas exclure les participants adultes ayant une concentration en créatinine inférieure à $0,3 \text{ g. L}^{-1}$ ou $> 3 \text{ g. L}^{-1}$ dans les analyses statistiques sachant que ces individus sont plutôt des femmes plus âgées mais sans autre caractéristique particulière. Concernant les enfants, étant donné la faible proportion d'individus avec une créatinine soit $< 0,3 \text{ g. L}^{-1}$ soit $> 3 \text{ g. L}^{-1}$ et en l'absence de recommandations internationales, il est proposé de les conserver pour la réalisation des analyses. C'est pour cela que nous avons préféré comparer les résultats exprimés en $\mu\text{g. L}^{-1}$ avec les études internationales et construire les valeurs de référence d'exposition en $\mu\text{g. L}^{-1}$ sans exclure de valeurs pour lesquelles la concentration en créatinine n'était pas comprise entre $0,3$ et 3 g. L^{-1} .

La présence des HAP dans l'environnement est d'origine anthropique : raffinage du pétrole, du schiste, utilisation du goudron, du charbon, du coke, du kérosène, sources d'énergie et de chaleur, revêtements routiers, fumée de cigarette, échappement des machines à moteur thermique, huiles moteur, carburants, aliments fumés ou grillés au charbon de bois (barbecues notamment), huiles, graisses, margarines, etc. Les sources naturelles d'émission des HAP sont les éruptions volcaniques et les feux de forêts.

⁵ <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28265873>

⁶ <https://www.cdc.gov/exposurereport/>

L'étude Esteban réalisée en France continentale entre 2014 et 2016 fournit pour la première fois les résultats des niveaux d'imprégnation par les HAP des enfants et des adultes en population générale. Quatre familles d'HAP étaient très bien quantifiées (1-hydroxypyrene, naphthalènes, fluorènes et phénanthrènes), ce qui reflète une exposition généralisée de la population française à ces HAP. Les chrysènes, fluoranthènes et anthracènes n'ont pas été quantifiés dans Esteban, cette non quantification ne signifie pas nécessairement une absence d'exposition à ces substances. Elle pourrait résulter d'une absence totale d'exposition ou d'une exposition à de très faibles niveaux et/ou peu récente en raison de la métabolisation et de l'élimination rapide des HAP qui ont une demi-vie biologique courte.

Les 1-hydroxynaphtalène et 2-hydroxynaphtalène, principaux métabolites du naphthalène étaient les métabolites qui contribuaient le plus à la dose interne totale des HAP suivis par les fluorènes et les phénanthrènes même si cette observation ne permet pas de considérer les naphthalènes comme plus dangereux pour la santé par rapport aux autres familles d'HAP.

La concentration du métabolite du benzo[a]pyrène (agent cancérigène pour l'homme) : le 3-hydroxybenzo[a]pyrène urinaire n'était pas quantifié dans l'étude Esteban, ce qui corrobore les résultats trouvés au Canada dans les différents cycles de ECMS (%<LOD=99,9 %). Cette observation est identique pour les métabolites du chrysène.

Toutefois, les métabolites du chrysène étant principalement excrétés dans les matières fécales, leur absence dans l'urine ne signifie pas nécessairement qu'il n'y ait pas eu d'exposition au chrysène. Le 3-hydroxyfluoranthène (métabolite urinaire du fluoranthène) n'était pas non plus détecté dans ECMS [51] ou dans Esteban. Enfin, l'anthracène n'avait pas été dosé dans ECMS.

En termes de comparaison, les niveaux d'imprégnation par les HAP étaient similaires à ceux observés en Allemagne, aux Etats-Unis et au Canada.

Les associations mises en évidence dans cette étude doivent être interprétées avec précaution car les études transversales ne permettent pas à elles-seules de déterminer les liens de causalité entre les sources d'exposition potentielles étudiées et les niveaux d'imprégnation mesurés. Ceci est particulièrement le cas pour les biomarqueurs d'exposition à demi-vie urinaire courte, tels que les HAP, dosés à partir d'un prélèvement biologique unique et ponctuel. Ainsi, l'absence d'association observée entre une source d'exposition potentielle et le niveau d'imprégnation par les métabolites de HAP, ne signifie pas que cette source d'exposition doit être exclue. A l'inverse, la mise en évidence d'une association entre une source d'exposition et le niveau d'imprégnation par les HAP suggère la nécessité de poursuivre l'étude de cette source d'exposition. Compte tenu de la demi-vie courte des HAP, la réalisation du prélèvement d'urine dans un temps proche du recueil des consommations alimentaires permettraient de mieux définir les déterminants alimentaires d'exposition aux HAP.

Les résultats d'Esteban ont montré l'influence sur l'imprégnation par les HAP de facteurs alimentaires (consommation de matières grasses, de charcuteries...), de facteurs en lien avec le mode de cuisson des aliments (barbecue) ainsi que d'autres facteurs comme l'usage de l'encens chez les enfants ou le sexe chez les adultes. Ces résultats confirment ceux de l'étude KoNEHS [55] qui ont montré que les concentrations en 2-hydroxynaphtalène étaient significativement plus élevées chez les enfants consommant les aliments cuits au gaz, tandis que la fréquence accrue des grillades au charbon de bois était corrélée à des concentrations plus élevées de 1-hydroxyphénanthrène. Les concentrations de 1-hydroxypyrene, 2-hydroxynaphtalène, 1-hydroxyphénanthrène et 2-hydroxyfluorène chez les adultes étaient toutes significativement plus élevées lorsque le pétrole était utilisé comme combustible de chauffage domestique. Les résultats d'Esteban ont également corroboré que l'alimentation est un facteur majeur d'exposition aux HAP chez les non-fumeurs. On peut noter en **Espagne**, une étude qui a analysé 11 métabolites hydroxylés d'HAP dans les urines en 2015 auprès de 120 femmes allaitantes « BETERMILK » [59]. Dans cette étude, il a été observé que l'ingestion

d'huile et d'autres matières grasses augmentait les niveaux d'imprégnation urinaire par la Σ des naphthalènes (1-hydroxynaphtalène et 2-hydroxynaphtalène). Cette augmentation n'a pas été observée dans Esteban pour les naphthalènes mais pour les 3 autres familles d'HAP étudiées. La consommation des céréales et du café (processus de torréfaction) [62, 63] augmentait les niveaux des fluorènes. Les niveaux de 1-hydroxypyrene et de la somme des naphthalènes étaient augmentés avec la consommation de poissons fumés.

Plus particulièrement, concernant l'augmentation des niveaux d'HAP avec la consommation de matières grasses, une des explications est le caractère lipophile des HAP qui ont tendance à s'accumuler dans la graisse des biosystèmes de la chaîne alimentaire [64]. De plus, les huiles et les graisses sont des précurseurs importants de la formation des HAP dans les aliments (EFSA, 2007), étant donné que ces substances sont générées à partir des acides gras saturés dans des conditions de température élevée [65].

Concernant le tabac, l'étude KoNEHS 2012-2014 [57] chez les adultes (n=6 418) observait une MG du 1-hydroxypyrene chez les fumeurs (0,129 $\mu\text{g. L}^{-1}$) 2 fois plus élevée que chez les non-fumeurs (0,265 $\mu\text{g. L}^{-1}$). En France, dans l'étude Esteban, elle était de 0,202 $\mu\text{g. L}^{-1}$ chez les fumeurs et 0,066 $\mu\text{g. L}^{-1}$ chez les non-fumeurs non exposés au tabac passif, soit un niveau 3 fois moins élevé que chez les fumeurs.

L'enquête de biosurveillance allemande (GerES) réalisée chez les enfants de 3 à 17 ans avait montré entre 2003-2006 (GerES IV) et 2014-2017 (GerES V) [53] une baisse des niveaux d'imprégnation par certains métabolites d'HAP et une augmentation par d'autres. Dans GerES V, les analyses des sous-groupes avaient révélé des concentrations de métabolites d'HAP plus élevées chez les jeunes enfants par rapport aux adolescents, ainsi que chez les résidents de l'Allemagne de l'Est par rapport à ceux de l'Allemagne de l'Ouest. Des concentrations accrues de métabolites d'HAP dans l'urine ont été constatées chez les participants utilisant du fuel domestique pour le chauffage ou du gaz pour la cuisine. Les objets en plastique ont été identifiés comme une autre source potentielle d'exposition. Les concentrations urinaires de métabolites de naphthalène et de fluorène étaient plus élevées chez les fumeurs.

8. VALEURS DE RÉFÉRENCE D'EXPOSITION (VRE) À PARTIR DES RÉSULTATS DE L'IMPRÉGNATION PAR LES HAP DE L'ÉTUDE ESTEBAN

8.1 Méthodologie

D'une manière générale, la VRE renseigne sur un niveau particulier d'imprégnation de la population générale française (population de référence) au-delà duquel on peut vraisemblablement considérer l'imprégnation comme anormalement élevée. Les VRE ne renseignent pas sur un quelconque effet sanitaire et ne doivent pas être confondues avec les valeurs limites biologiques d'imprégnation. La VRE établie à partir des données d'exposition permet de comparer les résultats mesurés chez un individu ou un sous-groupe de population par rapport à l'imprégnation de la population de référence. Ainsi, il est possible d'identifier des individus surexposés par rapport à la population de référence. L'étude Esteban, réalisée en 2014-2016 permet de fournir pour la première fois des VRE en HAP chez les enfants âgés de 6 à 17 ans et les adultes âgés de plus de 18 ans. La multiplicité des méthodes disponibles pour produire des VRE a conduit Santé publique France à définir et publier une stratégie nationale de production des VRE [66, 67]. La méthode de production des VRE françaises a été inspirée des travaux de la commission allemande de biosurveillance [68] et des travaux canadiens à partir de l'enquête ECMS [69]. C'est donc la valeur arrondie du percentile 95, comprise dans l'intervalle de confiance à 95 %, qui a été choisie.

8.2 Valeurs de références à partir des données de l'étude Esteban

Chez les adultes les résultats d'Esteban ne montraient pas de différence significative selon le sexe. Concernant l'âge, même si les distributions des niveaux d'imprégnation montraient que la classe d'âge des adultes de 60 à 74 ans semblait être moins imprégnée par les métabolites des HAP, ces différences n'étaient pas significatives. Par contre les concentrations urinaires en HAP variaient considérablement selon le statut tabagique. Il s'est alors avéré important de dériver les VRE en 2 sous-groupes (fumeurs, non-fumeurs) sauf pour le 9-hydroxyfluorène et les 1-hydroxyphénanthrène, 2-hydroxyphénanthrène et 4-hydroxyphénanthrène pour lesquels on n'observait pas de différence significative selon le statut tabagique.

En France en 2014-2016, les VRE des adultes non-fumeurs et non exposés au tabagisme passif étaient de $8,8 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ pour le 1-hydroxynaphtalène et de $19 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ pour le 2-hydroxynaphtalène alors qu'elles étaient respectivement de $27,2 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ et $42 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ pour le 1-hydroxynaphtalène et le 2-hydroxynaphtalène chez les fumeurs.

Au niveau international, la commission allemande HBM a établi des VRE pour certains métabolites des HAP [70]. Dans la population des enfants allemands (3-17 ans, 2014-2017), le P95 dans GerES V [53] pour le 1-hydroxypyrene était de $0,36 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ($0,26 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ en France, Esteban 2014-2016) ; $1,80 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ pour la somme des phénanthrènes ($0,87 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ en France, Esteban 2014-2016) ; $7,1 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ pour le 1-hydroxynaphtalène ($3,0 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ en France) et $23,7 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ pour le 2-hydroxynaphtalène ($19,0 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ en France, Esteban 2014-2016). Les VRE de la population des enfants français sont plus faibles que celles de la population des enfants allemands. Les VRE des adultes concernant le 1-hydroxypyrene étaient de $0,25 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ chez les non-fumeurs et non exposés au tabac passif et de $0,76 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ chez les fumeurs.

Chez les adultes de 18 à 69 ans, non-fumeurs, la commission allemande HBM avait établi une VRE pour le 1-hydroxypyrene de $0,5 \mu\text{g. L}^{-1}$ [71] sur des données issues de la période 1997-1999 versus $0,25 \mu\text{g. L}^{-1}$ pour l'étude Esteban.

Les valeurs de références d'exposition pour les HAP des 2 populations de l'étude Esteban (enfants et adultes) sont présentées en $\mu\text{g. L}^{-1}$ dans le tableau 15.

Tableau 15. Valeurs de référence d'exposition (enfants et adultes) à partir des niveaux d'imprégnation urinaire par les HAP (ng. L⁻¹) dans les urines de la population vivant en France continentale, Esteban 2014-2016

Métabolites & HAP	Effectif n	Classe d'âge	Statut	P50 ng L ⁻¹	P95 ng L ⁻¹	[IC à 95 %] P95	VRE ₉₅ µg L ⁻¹
1-hydroxypyrrène							
	398	6-17 ans	Tous	102,0	259,3	[214,3 ; 295,0]	0,26
	225	18-74 ans	Fumeurs	195,9	757,5	[525,2 ; 1021,7]	0,76
	507	18-74 ans	Non-fumeurs, non-exposés*	63,2	255,4	[219,5 ; 360,0]	0,26
1-hydroxynaphtalène							
	398	6-17 ans	Tous	472,2	3044,0	[1751,77 ; 5493,8]	3
	225	18-74 ans	Fumeurs	7353,3	27240,0	[22299,19 ; 32449,26]	27
	507	18-74 ans	Non-fumeurs, non-exposés*	450,38	8764,7	[3390,38 ; 14838,2]	9
2-hydroxynaphtalène							
	398	6-17 ans	Tous	3845,4	18853,0	[16894,75 ; 19760,18]	19
	225	18-74 ans	Fumeurs	13052,0	41768,0	[30039,30 ; 52607,50]	42
	507	18-74 ans	Non-fumeurs, non-exposés*	3111,4	19310,0	[14653,27 ; 25852,46]	19
∑Naphthalènes							
	398	6-17 ans	Tous	4525,7	21927,0	[18768,23 ; 28816,28]	22
	225	18-74 ans	Fumeurs	21203,0	66341,0	[49426,37 ; 85147,80]	66
	507	18-74 ans	Non-fumeurs, non-exposés*	4034,3	26169,0	[20713,99 ; 29209,79]	26
2-hydroxyfluorène							
	398	6-17 ans	Tous	218,89	653,1	[484,3 ; 872,17]	0,7
	225	18-74 ans	Fumeurs	1151,3	3368,5	[2617,86 ; 4200,07]	3,4
	507	18-74 ans	Non-fumeurs, non-exposés*	167,85	700,0	[504,16 ; 923,1]	0,7
3-hydroxyfluorène							
	398	6-17 ans	Tous	72,34	264,24	[201,07 ; 413,58]	0,3
	225	18-74 ans	Fumeurs	777,97	2626,6	[1996,6 ; 3175,6]	2,6
	507	18-74 ans	Non-fumeurs, non-exposés*	51,38	231,7	[185,7 ; 286,99]	0,2
9-hydroxyfluorène							
	398	6-17 ans	Tous	263,1	847,8	[708,3 ; 1108,0]	0,9
	1099	18-74 ans	Tous	336,4	1462,7	[1223,8 ; 1683,5]	1,5
∑Fluorènes							
	398	6-17 ans	Tous	580,8	1668,2	[1358,24 ; 2171,59]	1,7
	225	18-74 ans	Fumeurs	2455,2	7352,7	[5719,88 ; 9465,10]	7,4
	507	18-74 ans	Non-fumeurs, non-exposés*	538,44	1982,80	[1557,92 ; 2309,83]	2,0
1-hydroxyphénanthrène							
	398	6-17 ans	Tous	125,95	349,0	[278,2 ; 432,0]	0,35
	1099	18-74 ans	Tous	140,2	595,5	[502,2 ; 718,6]	0,60

2-hydroxyphénanthrène							
	398	6-17 ans	Tous	53,3	143,7	[121,0 ; 183,3]	0,14
	1099	18-74 ans	Tous	64,7	262,6	[226,2 ; 293,4]	0,26
3-hydroxyphénanthrène							
	398	6-17 ans	Tous	96,9	291,4	[233,4 ; 327,8]	0,29
	225	18-74 ans	Fumeurs	202,1	597,7	[460,4 ; 783,8]	0,60
	507	18-74 ans	Non-fumeurs, non-exposés*	72,9	271,3	[220,6 ; 340,0]	0,27
4-hydroxyphénanthrène							
	398	6-17 ans	Tous	18,89	63,1	[56,54 ; 80,5]	0,06
	1099	18-74 ans	Tous	20,79	95,6	[85,7 ; 113,4]	0,95
9-hydroxyphénanthrène							
	398	6-17 ans	Tous	34,9	92,0	[75,8 ; 110,0]	0,09
	225	18-74 ans	Fumeurs	175,4	472,8	[424,7 ; 722,7]	0,47
	507	18-74 ans	Non-fumeurs, non-exposés*	35,4	147,9	[120,6 ; 211,0]	0,15
∑Phénanthrènes							
	398	6-17 ans	Tous	332,8	870,3	[766,0 ; 1033,6]	0,9
	225	18-74 ans	Fumeurs	782,1	2181,4	[1644,7 ; 2773,3]	2,2
	507	18-74 ans	Non-fumeurs, non-exposés*	324,2	1239,0	[965,4 ; 1419,5]	1,2

(*) Non exposés au tabagisme passif

9. CONCLUSION

Les HAP sont des polluants organiques générés lors de la combustion incomplète de matières organiques. Ces polluants environnementaux peuvent contaminer les aliments, l'air, l'eau et le sol, et sont associés à un large éventail d'effets sur la santé. L'organisme humain peut être exposé aux HAP par l'inhalation d'air pollué ou de fumée de cigarettes, l'apport alimentaire et le contact cutané. La métabolisation des HAP dans l'organisme humain entraîne principalement une excrétion par voie urinaire sous forme de HAP libres ou conjugués monohydroxylés. Étant donné que plusieurs HAP sont considérés par le Circ comme des substances dangereuses pour la santé, leur surveillance est nécessaire. La biosurveillance humaine des HAP dans les échantillons d'urine est ainsi utile à l'évaluation de l'exposition récente aux HAP toutes voies d'exposition confondues.

Esteban a fourni les premières données d'imprégnation de la population française (adultes et enfants) par les HAP. Les concentrations urinaires des HAP chez les fumeurs dans la population française des adultes étaient très élevées par rapport à celles des non-fumeurs. Ces résultats pourront soutenir la politique de lutte contre le tabagisme compte tenu du caractère nocif des HAP (cancérogènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction). Les facteurs d'exposition observés lors de l'analyse des déterminants sont pour la majorité décrits dans la littérature comme la consommation de matières grasses (huile, beurre) ou l'utilisation d'un barbecue comme mode de cuisson.

La poursuite de la surveillance biologique des expositions aux HAP semble nécessaire pour étudier l'évolution des niveaux d'imprégnation au cours du temps dans la population et voir si les directives et règlements européens dont certains sont postérieurs à Esteban ont permis de réduire l'exposition de la population aux HAP puisque l'étude Esteban est la première étude à décrire l'exposition aux HAP de la population vivant en France métropolitaine.

Annexe 1. Distribution des concentrations urinaires en HAP en ng. L⁻¹ et ng. g⁻¹ des enfants âgés de 6 à 17 ans, par classe d'âge et par sexe, France continentale, Esteban 2014-2016

Tableau A1-1. Distribution des niveaux de 1-hydroxynaphtalène (1-OH-NA) urinaire (ng. L⁻¹)

1-OH-NA	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	398	527	[458,1 ; 606,9]	188	289	472	826	1570	3044	[1751,8 ; 5493,8]
Sexe										
Garçon	210	527	[426,6 ; 650,5]	194	290	459	855	1507	3635	[1543,3 ; 9132,8]
Fille	188	528	[445,8 ; 624,4]	178	282	502	787	1600	2786	[1707,1 ; 4936,2]
Age (ans)										
6-10 ans	174	472	[374,1 ; 595,1]	171	264	459	756	1314	2130	[1348,6 ; 4222,3]
11-14 ans	142	499	[397,6 ; 627,6]	177	261	451	727	1245	3407	[1199,0 ; 11207,0]
15-17 ans	82	708	[527,1 ; 949,7]	238	334	585	1301	2289	5085	[1760,2 ; 11633,0]

LOD = 15 ng L⁻¹

% > LOD = 100 %

LOQ = 50 ng L⁻¹

% > LOQ = 99,7%

Tableau A1-2. Distribution des niveaux de 1-hydroxynaphtalène (1-OH-NA) urinaire (ng. g⁻¹ de créatinine)

1-OH-NA	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	398	514	[457,3 ; 578,6]	181	263	468	835	1553	2836	[2140,6 ; 4532,1]
Sexe										
Garçon	210	499	[415,1 ; 599,2]	182	250	439	747	1703	3660	[2044,3 ; 7157,3]
Fille	188	530	[456,5 ; 616,3]	179	290	500	881	1448	2461	[1540,6 ; 3453,9]
Age (ans)										
6-10 ans	174	594	[513,8 ; 685,8]	228	358	552	898	1497	2768	[1553,1 ; 5101,4]
11-14 ans	142	446	[355,4 ; 560,4]	165	224	364	739	1283	2769	[1232,9 ; 8767,3]
15-17 ans	82	499	[369,2 ; 674,8]	155	236	428	832	1926	3237	[1560,3 ; 5599,8]

Tableau A2-1. Distribution des niveaux de 2-hydroxynaphtalène (2-OH-NA) urinaire (ng. L⁻¹)

2-OH-NA	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	398	4320	[3830,7 ; 4871,0]	1432	2481	3845	7919	15326	18853	[16894,8 ; 19760,2]
Sexe										
Garçon	210	4253	[3522,1 ; 5135,2]	1378	2314	4039	7904	15917	19020	[16308,5 ; 21580,7]
Fille	188	4392	[3771,6 ; 5115,2]	1474	2627	3723	7786	14133	17930	[16256,1 ; 26291,4]
Age (ans)										
6-10 ans	174	3903	[3150,7 ; 4835,0]	1192	2184	3954	7058	11998	15149	[11827,3 ; 18041,2]
11-14 ans	142	4270	[3549,2 ; 5138,1]	1417	2443	3515	7681	16251	19899	[16868,1 ; 25483,6]
15-17 ans	82	5295	[4080,4 ; 6871,8]	2020	2963	4171	9115	17218	23187	[16628,6 ; 57488,0]

LOD = 15 ng L⁻¹

% > LOD = 100%

LOQ = 50 ng L⁻¹

% > LOQ = 100%

Tableau A2-2. Distribution des niveaux de 2-hydroxynaphtalène (2-OH-NA) urinaire (ng. g.⁻¹ de créatinine)

2-OH-NA	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	398	4214	[3758,8 ; 4725,0]	1515	2314	4046	7069	12916	16880	[14536,3 ; 19186,8]
Sexe										
Garçon	210	4027	[3415,8 ; 4747,0]	1298	2327	4092	6928	11513	14897	[11669,7 ; 18481,9]
Fille	188	4416	[3760,0 ; 5185,8]	1633	2301	3994	7081	14253	18391	[15324,8 ; 23144,0]
Age (ans)										
6-10 ans	174	4910	[4174,1 ; 5775,9]	1747	3090	4901	7541	12631	15440	[11960,3 ; 19032,2]
11-14 ans	142	3815	[3175,7 ; 4583,3]	1445	1946	3388	6229	13063	17755	[13271,2 ; 21471,3]
15-17 ans	82	3736	[2850,3 ; 4895,6]	1324	2054	3397	5993	11727	16834	[10862,2 ; 37251,9]

Tableau A3-1. Distribution des niveaux de 2-hydroxyfluorène (2-OH-FL) urinaire (ng. L⁻¹)

2-OH-FL	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	398	215,03	[194,70 ; 237,48]	102,68	140,60	218,89	314,24	423,07	653,14	[484,30 ; 872,17]
Sexe										
Garçon	210	213,28	[184,99 ; 245,89]	100,86	142,81	220,84	305,16	401,53	675,37	[402,55 ; 1125,70]
Fille	188	216,72	[192,05 ; 244,56]	102,26	137,91	213,99	320,62	453,11	635,19	[480,73 ; 783,55]
Age (ans)										
6-10 ans	174	187,08	[157,66 ; 221,98]	87,12	132,03	197,97	275,75	377,38	462,30	[381,72 ; 862,63]
11-14 ans	142	207,45	[180,74 ; 238,10]	100,60	133,95	199,68	291,53	436,63	712,96	[423,63 ; 910,69]
15-17 ans	82	294,50	[244,09 ; 355,33]	134,19	206,67	288,59	390,53	514,27	1021,30	[491,17 ; 2629,38]

LOD = 2 ng L⁻¹

% > LOD = 100%

LOQ = 5 ng L⁻¹

% > LOQ = 100%

Tableau A3-2. Distribution des niveaux de 2-hydroxyfluorène (2-OH-FL) urinaire (ng. g⁻¹ de créatinine)

2-OH-FL	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	398	209,78	[194,43 ; 226,35]	104,57	142,40	198,66	293,36	429,23	557,98	[474,03 ; 628,13]
Sexe										
Garçon	210	201,94	[179,94 ; 226,63]	95,08	130,45	188,28	283,16	427,46	597,01	[420,80 ; 932,89]
Fille	188	217,87	[197,04 ; 240,90]	116,04	155,76	203,34	303,41	430,76	517,50	[431,47 ; 630,63]
Age (ans)										
6-10 ans	174	235,35	[210,82 ; 262,73]	124,23	162,95	221,02	330,97	473,83	544,01	[475,65 ; 612,24]
11-14 ans	142	185,33	[162,12 ; 211,86]	87,64	125,85	173,68	256,92	381,06	538,34	[383,98 ; 660,80]
15-17 ans	82	207,75	[176,59 ; 244,41]	106,00	139,75	195,74	274,92	369,65	585,44	[359,98 ; 1364,25]

Tableau A4-1. Distribution des niveaux de 3-hydroxyfluorène (3-OH-FL) urinaire (ng. L⁻¹) des enfants

3-OH-FL	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	398	73,65	[66,47 ; 81,60]	31,80	46,40	72,34	104,76	162,22	264,24	[201,07 ; 413,58]
Sexe										
Garçon	210	74,40	[64,58 ; 85,71]	35,48	48,08	71,99	105,53	157,73	252,51	[171,60 ; 406,05]
Fille	188	72,87	[63,58 ; 83,52]	28,55	45,40	72,64	103,00	167,86	285,11	[182,61 ; 447,54]
Age (ans)										
6-10 ans	174	66,05	[55,74 ; 78,26]	29,35	43,95	67,27	95,90	139,77	190,45	[132,95 ; 271,69]
11-14 ans	142	68,43	[58,36 ; 80,23]	26,83	43,62	66,50	95,64	160,92	327,60	[166,09 ; 470,99]
15-17 ans	82	101,37	[82,73 ; 124,22]	48,40	62,08	96,78	125,14	211,50	467,31	[196,89 ; 1359,13]

LOD = 2 ng L⁻¹

% > LOD = 100%

LOQ = 5 ng L⁻¹

% > LOQ = 100%

Tableau A4-2. Distribution des niveaux de 3-hydroxyfluorène (3-OH-FL) urinaire (ng. g⁻¹ de créatinine) des enfants

3-OH-FL	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	398	71,86	[65,89 ; 78,35]	32,63	47,60	66,56	104,17	170,16	234,51	[193,89 ; 311,02]
Sexe										
Garçon	210	70,44	[61,81 ; 80,28]	31,25	44,49	63,13	103,68	167,11	243,99	[164,44 ; 503,21]
Fille	188	73,26	[64,72 ; 82,93]	33,43	49,79	69,22	103,89	170,62	232,20	[179,41 ; 304,99]
Age (ans)										
6-10 ans	174	83,09	[73,93 ; 93,39]	43,97	54,28	77,31	120,59	176,37	205,06	[179,55 ; 239,51]
11-14 ans	142	61,13	[52,33 ; 71,42]	26,24	37,32	56,17	85,51	137,16	255,52	[139,86 ; 339,32]
15-17 ans	82	71,51	[57,89 ; 88,34]	31,94	43,23	64,46	94,82	174,19	323,46	[145,53 ; 845,90]

Tableau A5-1. Distribution des niveaux de 9-hydroxyfluorène (9-OH-FL) urinaire (ng. L⁻¹) des enfants

9-OH-FL	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	398	265,35	[236,95 ; 297,15]	112,57	180,70	263,10	400,40	642,95	847,84	[708,31 ; 1108,00]
Sexe										
Garçon	210	281,08	[235,71 ; 335,19]	119,29	200,87	271,89	436,23	707,49	831,33	[716,05 ; 930,15]
Fille	188	250,44	[220,73 ; 284,15]	108,04	158,83	253,88	368,89	493,91	836,67	[499,45 ; 1123,31]
Age (ans)										
6-10 ans	174	226,87	[185,33 ; 277,73]	100,36	166,80	248,78	327,92	462,87	633,14	[481,65 ; 779,06]
11-14 ans	142	261,20	[228,65 ; 298,38]	110,18	171,40	240,16	395,70	558,29	818,70	[567,05 ; 1363,27]
15-17 ans	82	363,50	[290,04 ; 455,57]	134,55	221,58	348,76	574,52	847,14	1107,50	[772,22 ; 1859,38]

LOD = 5 ng L⁻¹

% > LOD = 100%

LOQ = 10 ng L⁻¹

% > LOQ = 100%

Tableau A5-2. Distribution des niveaux de 9-hydroxyfluorène (9-OH-FL) urinaire (ng. g⁻¹ de créatinine) des enfants

9-OH-FL	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	398	258,88	[236,44 ; 283,44]	108,14	169,02	249,71	387,22	619,18	792,11	[714,75 ; 886,95]
Sexe										
Garçon	210	266,14	[233,03 ; 303,96]	112,65	177,06	243,70	386,63	657,66	851,09	[719,59 ; 1183,59]
Fille	188	251,77	[222,35 ; 285,08]	106,31	153,58	255,14	387,35	555,58	734,39	[584,94 ; 846,56]
Age (ans)										
6-10 ans	174	285,41	[249,69 ; 326,24]	137,28	190,15	276,51	408,36	642,38	773,32	[655,21 ; 853,69]
11-14 ans	142	233,36	[200,97 ; 270,96]	97,91	136,07	227,53	356,55	587,32	781,40	[581,35 ; 992,80]
15-17 ans	82	256,43	[210,61 ; 312,21]	117,24	152,24	243,11	365,48	541,04	827,70	[501,12 ; 1525,66]

Tableau A6-1. Distribution des niveaux de 1-hydroxyphénanthrène (1-OH-PHE) urinaire (ng. L⁻¹) des enfants

1-OH-PHE	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	398	119,92	[109,32 ; 131,55]	57,17	80,15	125,95	173,25	249,01	349,02	[278,17 ; 431,97]
Sexe										
Garçon	210	115,61	[99,69 ; 134,08]	50,52	80,88	119,25	174,13	242,41	320,75	[260,72 ; 470,32]
Fille	188	124,39	[111,65 ; 138,58]	59,51	79,59	128,88	171,44	258,12	361,51	[267,01 ; 451,10]
Age (ans)										
6-10 ans	174	104,87	[88,31 ; 124,53]	46,38	77,83	115,58	151,95	204,26	245,29	[206,09 ; 337,46]
11-14 ans	142	120,71	[105,49 ; 138,13]	60,21	76,13	120,21	171,24	255,01	332,93	[252,97 ; 540,78]
15-17 ans	82	152,09	[128,55 ; 179,93]	68,34	96,31	142,65	211,01	367,27	457,55	[362,91 ; 543,99]

LOD = 2 ng L⁻¹

% > LOD = 100%

LOQ = 5 ng L⁻¹

% > LOQ = 100%

Tableau A6-2. Distribution des niveaux de 1-hydroxyphénanthrène (1-OH-PHE) urinaire (ng. g⁻¹ de créatinine) des enfants

1-OH-PHE	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	398	117,00	[108,28 ; 126,42]	56,00	79,32	113,61	167,98	253,56	312,16	[273,18 ; 392,88]
Sexe										
Garçon	210	109,47	[97,98 ; 122,31]	49,04	74,05	107,83	153,19	249,24	299,76	[264,56 ; 380,30]
Fille	188	125,05	[112,74 ; 138,71]	64,97	84,16	120,31	175,34	251,22	324,72	[263,01 ; 419,88]
Age (ans)										
6-10 ans	174	131,92	[117,07 ; 148,67]	66,25	89,64	136,10	187,22	260,30	279,86	[267,65 ; 303,04]
11-14 ans	142	107,85	[93,94 ; 123,81]	51,91	73,80	100,03	147,08	235,48	354,41	[222,99 ; 419,36]
15-17 ans	82	107,29	[91,557 ; 125,73]	52,44	74,82	100,87	132,83	232,54	320,35	[228,82 ; 529,37]

Tableau A7-1. Distribution des niveaux de 2-hydroxyphénanthrène (2-OH-PHE) urinaire (ng. L⁻¹) des enfants

2-OH-PHE	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	398	53,72	[49,50 ; 58,30]	26,84	37,22	53,25	73,58	111,94	143,70	[121,02 ; 183,28]
Sexe										
Garçon	210	53,37	[47,01 ; 60,60]	26,88	36,29	52,55	74,83	112,69	141,04	[117,27 ; 200,05]
Fille	188	54,07	[48,88 ; 59,81]	26,62	38,55	53,50	71,99	105,84	145,99	[115,95 ; 199,61]
Age (ans)										
6-10 ans	174	44,67	[39,35 ; 50,72]	24,67	33,71	45,78	58,57	76,57	96,02	[77,91 ; 124,09]
11-14 ans	142	55,08	[48,58 ; 62,45]	27,58	36,08	54,93	75,29	110,56	153,95	[114,10 ; 205,78]
15-17 ans	82	72,50	[61,26 ; 85,81]	33,54	50,88	69,29	99,47	143,73	195,40	[131,29 ; 277,51]

LOD = 2 ng L⁻¹

% > LOD = 100%

LOQ = 5 ng L⁻¹

% > LOQ = 100%

Tableau A7-2. Distribution des niveaux de 2-hydroxyphénanthrène (2-OH-PHE) urinaire (ng. g⁻¹ de créatinine) des enfants

2-OH-PHE	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	398	52,41	[48,77 ; 56,32]	28,76	36,35	48,45	74,27	102,12	131,76	[112,39 ; 153,61]
Sexe										
Garçon	210	50,54	[45,66 ; 55,94]	27,92	34,27	46,09	70,06	97,76	131,69	[98,53 ; 164,24]
Fille	188	54,36	[49,12 ; 60,15]	29,84	38,03	50,81	76,88	105,31	129,49	[105,23 ; 153,52]
Age (ans)										
6-10 ans	174	56,20	[50,91 ; 62,04]	31,34	38,82	53,36	81,13	100,07	114,23	[101,24 ; 134,52]
11-14 ans	142	49,21	[43,28 ; 55,94]	25,92	33,29	44,66	67,99	108,94	141,14	[109,80 ; 160,69]
15-17 ans	82	51,15	[44,28 ; 59,08]	28,55	35,23	46,69	64,70	94,43	135,55	[90,66 ; 204,68]

Tableau A8-1. Distribution des niveaux de 3-hydroxyphénanthrène (3-OH-PHE) urinaire (ng. L⁻¹) des enfants

3-OH-PHE	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	398	92,53	[83,35 ; 102,72]	41,42	60,01	96,87	134,24	200,00	291,41	[233,38 ; 327,75]
Sexe										
Garçon	210	94,13	[80,59 ; 109,94]	43,19	64,12	98,45	131,34	203,50	306,15	[203,49 ; 357,46]
Fille	188	90,91	[80,04 ; 103,26]	39,27	56,31	93,87	135,81	199,18	272,58	[203,42 ; 312,34]
Age (ans)										
6-10 ans	174	82,96	[69,33 ; 99,27]	39,40	59,51	87,88	125,65	166,50	208,12	[169,29 ; 263,83]
11-14 ans	142	89,71	[77,61 ; 103,68]	41,56	53,60	94,11	125,74	202,97	287,42	[202,39 ; 334,72]
15-17 ans	82	119,04	[95,72 ; 148,05]	46,56	78,62	118,91	166,80	289,73	350,70	[269,41 ; 434,87]

LOD = 2 ng L⁻¹

% > LOD = 100%

LOQ = 5 ng L⁻¹

% > LOQ = 100%

Tableau A8-2. Distribution des niveaux de 3-hydroxyphénanthrène (3-OH-PHE) urinaire (ng. g⁻¹ de créatinine) des enfants

3-OH-PHE	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	398	90,27	[83,11 ; 98,05]	44,27	61,18	88,14	125,47	194,19	245,35	[218,07 ; 286,33]
Sexe										
Garçon	210	89,13	[79,03 ; 100,51]	42,13	59,56	86,42	120,87	207,74	252,78	[214,77 ; 299,44]
Fille	188	91,40	[81,92 ; 101,97]	45,51	62,04	89,84	129,02	181,68	232,00	[179,23 ; 283,00]
Age (ans)										
6-10 ans	174	104,37	[93,32 ; 116,73]	54,22	74,13	100,18	151,31	189,65	226,18	[187,80 ; 247,02]
11-14 ans	142	80,14	[69,65 ; 92,22]	39,02	52,48	73,43	113,28	187,83	266,34	[199,61 ; 301,86]
15-17 ans	82	83,98	[69,29 ; 101,78]	40,67	59,56	81,51	102,30	181,53	243,67	[141,86 ; 304,96]

Tableau A9-1. Distribution des niveaux de 4-hydroxyphénanthrène (4-OH-PHE) urinaire (ng. L⁻¹) des enfants

4-OH-PHE	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	398	18,77	[16,94 ; 20,81]	7,39	12,46	18,89	28,02	48,35	63,10	[56,54 ; 80,53]
Sexe										
Garçon	210	19,04	[16,15 ; 22,46]	7,35	13,06	19,74	29,41	45,28	68,29	[46,44 ; 90,21]
Fille	188	18,51	[16,25 ; 21,09]	7,38	11,69	18,30	26,60	49,82	60,42	[54,74 ; 71,04]
Age (ans)										
6-10 ans	174	18,00	[14,80 ; 21,87]	7,52	13,06	17,42	25,44	43,56	63,29	[47,58 ; 85,89]
11-14 ans	142	18,52	[16,09 ; 21,33]	7,10	11,70	19,10	28,86	45,17	55,08	[43,34 ; 57,27]
15-17 ans	82	20,77	[16,76 ; 25,75]	7,56	11,35	22,50	30,14	56,39	76,32	[56,15 ; 95,99]

LOD = 5 ng L⁻¹

% > LOD = 97,7%

LOQ = 10 ng L⁻¹

% > LOQ = 81,2%

Tableau A9-2. Distribution des niveaux de 4-hydroxyphénanthrène (4-OH-PHE) urinaire (ng. g⁻¹ de créatinine) des enfants

4-OH-PHE	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	398	18,32	[16,63 ; 20,17]	8,03	11,75	16,44	28,27	46,40	61,56	[51,75 ; 70,89]
Sexe										
Garçon	210	18,03	[15,63 ; 20,80]	6,91	11,79	16,82	27,44	45,84	62,35	[47,54 ; 88,99]
Fille	188	18,61	[16,32 ; 21,21]	8,63	11,57	16,04	29,49	46,15	60,23	[48,03 ; 72,71]
Age (ans)										
6-10 ans	174	22,64	[19,51 ; 26,27]	10,28	13,66	19,72	33,94	49,72	82,96	[49,96 ; 134,19]
11-14 ans	142	16,55	[14,09 ; 19,43]	6,60	11,01	15,39	25,77	40,00	52,19	[39,14 ; 69,07]
15-17 ans	82	14,66	[12,09 ; 17,77]	6,16	9,48	13,46	19,26	43,14	57,98	[37,43 ; 68,41]

Tableau A10-1. Distribution des niveaux de 9-hydroxyphénanthrène (9-OH-PHE) urinaire (ng. L⁻¹) des enfants

9-OH-PHE	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	398	34,29	[31,47 ; 37,36]	15,77	24,10	34,91	48,76	67,62	91,97	[75,79 ; 109,99]
Sexe										
Garçon	210	34,46	[30,57 ; 38,85]	16,18	23,70	35,56	49,18	68,19	87,87	[67,99 ; 115,02]
Fille	188	34,12	[30,30 ; 38,41]	15,61	24,26	34,14	48,28	66,46	94,77	[69,75 ; 133,86]
Age (ans)										
6-10 ans	174	31,51	[27,48 ; 36,13]	14,46	23,81	33,70	42,94	58,36	78,16	[61,88 ; 96,75]
11-14 ans	142	34,53	[30,17 ; 39,53]	16,52	23,44	34,02	50,14	63,72	101,71	[62,77 ; 153,20]
15-17 ans	82	39,72	[32,69 ; 48,24]	16,94	25,57	38,15	59,34	78,89	104,35	[71,92 ; 183,22]

LOD = 5 ng L⁻¹

% > LOD = 100%

LOQ = 10 ng L⁻¹

% > LOQ = 98,0%

Tableau A10-2. Distribution des niveaux de 9-hydroxyphénanthrène (9-OH-PHE) urinaire (ng. g⁻¹ créatinine) des enfants

9-OH-PHE	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	398	33,45	[30,89 ; 36,23]	15,68	21,36	32,29	48,74	73,49	93,57	[82,81 ; 108,42]
Sexe										
Garçon	210	32,63	[28,95 ; 36,78]	13,97	20,37	30,74	48,53	76,20	96,35	[81,14 ; 139,03]
Fille	188	34,30	[30,86 ; 38,18]	17,36	22,28	34,05	48,49	68,68	90,61	[72,46 ; 110,03]
Age (ans)										
6-10 ans	174	39,64	[35,67 ; 44,05]	19,92	27,08	38,49	55,14	81,01	97,90	[84,48 ; 111,39]
11-14 ans	142	30,85	[26,73 ; 35,61]	14,73	18,62	28,36	45,76	69,90	93,45	[68,50 ; 139,72]
15-17 ans	82	28,02	[23,41 ; 33,54]	12,63	18,29	28,74	39,53	52,75	67,98	[48,19 ; 102,57]

Tableau A11-1. Distribution des niveaux de 1-hydroxypyrene (1-OH-PY) urinaire (ng. L⁻¹) des enfants

1-OH-PY	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	398	100,17	[91,38 ; 109,81]	46,55	72,31	102,02	140,42	197,87	259,34	[214,26 ; 294,98]
Sexe										
Garçon	210	97,03	[84,88 ; 110,91]	44,18	69,48	105,76	138,44	195,59	241,71	[203,82 ; 277,33]
Fille	188	103,39	[92,75 ; 115,24]	47,62	74,65	99,91	143,36	199,03	293,97	[208,89 ; 391,31]
Age (ans)										
6-10 ans	174	89,15	[75,14 ; 105,78]	40,46	61,35	98,12	132,54	178,1	219,53	[181,55 ; 270,24]
11-14 ans	142	101,75	[90,91 ; 113,87]	52,49	78,91	97,85	135,32	189,5	250,91	[188,66 ; 308,07]
15-17 ans	82	121,12	[100,48 ; 146,00]	51,97	81,81	116,19	166,32	255,15	454,71	[231,50 ; 643,99]
Exposition au tabac										
Pas d'exposition au tabac	299	94,43	[84,86 ; 105,07]	43,95	67,28	97,16	134,56	185,28	258,25	[202,42 ; 290,59]
Exposition au tabac (actif, passif ou les deux)	99	114,92	[97,98 ; 134,80]	54,81	82,07	117,72	163,93	208,75	283,47	[205,73 ; 568,23]

LOD = 5 ng L⁻¹

% > LOD = 100%

LOQ = 10 ng L⁻¹

% > LOQ = 100%

Tableau A11-2. Distribution des niveaux de 1-hydroxypyrene (1-OH-PY) urinaire (ng. g⁻¹ de créatinine) des enfants

1-OH-PY	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	398	97,73	[90,40 ; 105,65]	48,78	66,44	97,16	136,88	194,23	271,16	[213,21 ; 332,69]
Sexe										
Garçon	210	91,87	[81,74 ; 103,27]	43,34	59,21	88,82	134,98	191,90	278,09	[192,53 ; 340,39]
Fille	188	103,94	[93,87 ; 115,08]	58,70	69,91	105,12	138,92	196,67	259,11	[208,27 ; 289,18]
Age (ans)										
6-10 ans	174	112,16	[98,28 ; 128,01]	55,68	79,04	117,38	153,09	216,28	296,48	[210,40 ; 353,18]
11-14 ans	142	90,90	[81,25 ; 101,69]	47,65	65,58	85,52	126,27	175,31	233,95	[176,69 ; 281,54]
15-17 ans	82	85,44	[71,96 ; 101,46]	44,77	56,51	74,91	117,43	178,44	267,37	[156,31 ; 454,07]
Exposition au tabac										
Pas d'exposition au tabac	299	98,74	[89,32 ; 109,15]	47,80	67,19	100,73	138,08	196,14	283,16	[202,46 ; 335,13]
Exposition au tabac (actif, passif ou les deux)	99	95,52	[82,79 ; 110,21]	49,36	63,90	88,86	132,13	187,30	227,31	[182,69 ; 325,89]

Tableau A12-1. Distribution des niveaux de Σ Fluorènes (2, 3, 9-OH-FL) urinaire (ng. L⁻¹) des enfants

Σ 2, 3, 9-OH-FL	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	398	577,34	[522,57 ; 637,85]	275,57	407,13	580,84	801,82	1178,20	1668,20	[1358,24 ; 2171,59]
Sexe										
Garçon	210	591,86	[509,06 ; 688,13]	285,31	420,89	590,49	839,99	1224,70	1694,00	[1278,34 ; 2433,03]
Fille	188	563,02	[501,99 ; 631,47]	263,13	386,14	564,76	780,70	1052,90	1623,80	[1131,33 ; 2421,01]
Age (ans)										
6-10 ans	174	496,33	[416,03 ; 592,15]	246,82	376,12	519,07	719,43	961,75	1175,60	[976,57 ; 1665,03]
11-14 ans	142	561,41	[495,66 ; 635,88]	272,02	390,65	548,97	731,63	1153,90	1884,70	[1168,67 ; 2616,12]
15-17 ans	82	798,27	[657,91 ; 968,57]	355,93	556,54	749,58	1082,90	1533,40	2455,60	[1500,47 ; 5002,45]
Exposition au tabac										
Pas d'exposition au tabac	299	538,71	[479,67 ; 605,02]	263,07	377,28	531,41	770,29	1107,80	1473,60	[1200,34 ; 2043,46]
Exposition au tabac (actif, passif ou les deux)	99	678,13	[572,19 ; 803,69]	342,24	501,24	679,36	866,26	1424,20	2037,10	[1466,62 ; 2776,59]

Tableau A12-2. Distribution des niveaux de Σ Fluorènes urinaire (ng. g⁻¹ de créatinine) des enfants

Σ Fluorènes	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	398	563,26	[522,05 ; 607,73]	274,12	375,27	542,81	799,06	1183,40	1482,80	[1306,71 ; 1643,94]
Sexe										
Garçon	210	560,41	[499,25 ; 629,06]	258,13	370,43	538,54	777,89	1236,30	1595,60	[1308,54 ; 2384,19]
Fille	188	566,02	[511,13 ; 626,81]	289,86	376,84	544,09	819,82	1113,80	1395,20	[1169,89 ; 1593,24]
Age (ans)										
6-10 ans	174	624,40	[560,13 ; 696,05]	319,54	428,76	602,13	892,30	1237,30	1382,60	[1221,85 ; 1508,78]
11-14 ans	142	501,56	[439,63 ; 572,21]	244,83	318,96	476,87	694,04	1129,10	1533,70	[1130,25 ; 2055,13]
15-17 ans	82	563,13	[475,92 ; 666,32]	276,05	361,20	541,97	748,00	1039,80	1625,50	[987,14 ; 2782,88]
Exposition au tabac										
Pas d'exposition au tabac	299	563,32	[511,39 ; 620,52]	270,57	386,68	545,00	792,06	1162,80	1430,20	[1215,39 ; 1629,19]
Exposition au tabac (actif, passif ou les deux)	99	563,66	[491,24 ; 646,76]	273,85	354,10	534,48	795,10	1212,80	1553,50	[1210,54 ; 2313,55]

Tableau A13-1. Distribution des niveaux de Σ Naphtalènes urinaire (ng. L⁻¹) des enfants

Σ naphtalènes	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	398	5115,00	[4545,38 ; 5756,04]	1794,50	2999,70	4525,70	8957,20	16313,00	21927,00	[18768,23 ; 28816,28]
Sexe										
Garçon	210	5051,00	[4200,63 ; 6073,62]	1711,10	2730,60	4924,70	9133,30	16715,00	21513,00	[16723,28 ; 31740,05]
Fille	188	5184,80	[4478,96 ; 6001,88]	1849,70	3235,40	4352,60	8582,60	15650,00	22812,00	[16833,83 ; 31638,16]
Age (ans)										
6-10 ans	174	4578,60	[3707,27 ; 5654,83]	1480,00	2614,20	4580,50	8274,90	13497,00	17331,00	[13387,92 ; 20442,48]
11-14 ans	142	5058,80	[4226,13 ; 6055,48]	1837,10	2984,00	4191,80	8335,50	17029,00	24221,00	[17180,82 ; 41367,19]
15-17 ans	82	6380,60	[4951,60 ; 8222,05]	2360,30	3625,50	5355,20	10148,00	19645,00	31383,00	[18034,68 ; 60748,57]
Exposition au tabac										
Pas d'exposition au tabac	299	4824,00	[4161,93 ; 5591,48]	1569,30	2721,00	4723,70	8839,90	14735,00	19205,00	[16249,55 ; 20454,09]
Exposition au tabac (actif, passif ou les deux)	99	5870,30	[4752,74 ; 7250,58]	2366,90	3395,20	4377,70	9029,00	20230,00	31773,00	[18313,23 ; 45751,71]

Tableau A13-2. Distribution des niveaux de Σ Naphtalènes urinaire (ng. g⁻¹ de créatinine) des enfants

Σ naphtalènes	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	398	4990,30	[4479,44 ; 5559,38]	1837,90	2874,60	4697,10	8006,60	14320,00	19157,00	[16184,37 ; 21984,17]
Sexe										
Garçon	210	4782,60	[4084,36 ; 5600,21]	1576,60	2808,20	4854,10	7854,80	12490,00	17746,00	[12296,11 ; 23780,70]
Fille	188	5212,40	[4486,76 ; 6055,47]	1965,30	2950,80	4544,90	8197,90	15535,00	19880,00	[16422,69 ; 24571,36]
Age (ans)										
6-10 ans	174	5760,00	[4958,33 ; 6691,39]	2250,70	3702,30	5724,80	8824,40	13904,00	16265,00	[13754,89 ; 21081,88]
11-14 ans	142	4519,50	[3784,11 ; 5397,77]	1780,30	2345,50	4148,20	7028,00	14113,00	22089,00	[14601,33 ; 41215,95]
15-17 ans	82	4501,10	[3455,37 ; 5863,41]	1611,00	2639,60	3906,40	7172,00	14330,00	20407,00	[13440,90 ; 39004,48]
Exposition au tabac										
Pas d'exposition au tabac	299	5044,40	[4476,95 ; 5683,87]	1882,80	2997,00	4841,70	7990,60	13348,00	17804,00	[14283,18 ; 21303,19]
Exposition au tabac (actif, passif ou les deux)	99	4879,40	[3854,31 ; 6177,07]	1689,50	2685,50	4217,70	8013,60	15768,00	23901,00	[15305,33 ; 58372,90]

Tableau A14-1. Distribution des niveaux de Σ Phénanthrènes urinaire (ng. L⁻¹) des enfants

Σ Phénanthrènes	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	398	328,32	[300,17 ; 359,12]	162,77	224,08	332,80	463,29	695,66	870,32	[766,03 ; 1033,56]
Sexe										
Garçon	210	326,36	[284,18 ; 374,80]	163,73	225,13	327,05	463,16	699,74	874,02	[753,85 ; 1073,81]
Fille	188	330,26	[296,41 ; 367,98]	160,18	221,04	336,47	457,79	663,68	867,22	[726,09 ; 1197,10]
Age (ans)										
6-10 ans	174	290,52	[248,48 ; 339,68]	152,17	212,97	304,95	412,39	526,19	681,36	[534,11 ; 912,11]
11-14 ans	142	326,43	[286,79 ; 371,53]	164,52	210,31	328,12	463,39	684,50	884,24	[723,48 ; 1223,85]
15-17 ans	82	415,67	[347,99 ; 496,51]	185,18	274,81	412,67	578,06	851,65	1148,50	[773,36 ; 1498,57]
Exposition au tabac										
Pas d'exposition au tabac	299	310,16	[279,16 ; 344,61]	156,56	207,31	309,47	437,47	612,22	800,32	[699,91 ; 1090,11]
Exposition au tabac (actif, passif ou les deux)	99	374,64	[320,33 ; 438,15]	184,60	265,91	392,51	492,72	779,15	921,21	[772,70 ; 1103,99]

Tableau A14-2. Distribution des niveaux de Σ Phénanthrènes urinaire (ng. g⁻¹ créatinine) des enfants

Σ Phénanthrènes	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	398	320,31	[297,32 ; 345,08]	163,17	217,15	302,02	459,46	646,73	825,09	[716,29 ; 971,38]
Sexe										
Garçon	210	309,02	[277,49 ; 344,114]	145,41	205,79	290,99	434,59	679,25	832,34	[720,00 ; 979,46]
Fille	188	332,02	[300,39 ; 366,97]	179,18	232,71	315,51	472,71	610,33	796,83	[614,22 ; 987,81]
Age (ans)										
6-10 ans	174	365,49	[329,87 ; 404,95]	190,74	256,53	364,77	510,03	671,18	743,00	[687,53 ; 841,89]
11-14 ans	142	291,63	[255,24 ; 333,20]	145,12	196,85	266,57	406,74	645,19	896,39	[639,79 ; 987,82]
15-17 ans	82	293,23	[250,35 ; 343,46]	147,37	204,88	278,39	380,21	544,81	771,46	[532,90 ; 1200,85]
Exposition au tabac										
Pas d'exposition au tabac	299	324,33	[296,52 ; 354,76]	160,66	224,02	313,34	462,12	638,35	811,85	[685,36 ; 963,64]
Exposition au tabac (actif, passif ou les deux)	99	311,40	[271,28 ; 357,46]	164,65	205,75	281,59	440,80	652,46	818,84	[630,48 ; 985,18]

Annexe 2. Distribution des concentrations urinaires en HAP en ng. L⁻¹ et ng. g⁻¹ des adultes âgés de 18 à 74 ans, par classe d'âge, par sexe et selon le statut tabagique, France continentale, Esteban 2014-2016

Tableau B1-1. Distribution des niveaux de 1-hydroxynaphtalène (1-OH-NA) urinaire (ng. L⁻¹) des adultes

1-OH-NA	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	1099	1012,70	[878,62 ; 1167,26]	216,52	339,61	663,80	2559,90	10858,00	16552,00	[14252,28 ; 19485,97]
Age (ans)										
[18-29]	74	1079,40	[672,24 ; 1733,12]	198,04	341,89	800,36	2819,00	11331,00	16070,00	[9032,60 ; 24193,53]
[30-44]	275	1087,40	[861,43 ; 1372,75]	202,28	355,53	732,85	2976,30	10835,00	18805,00	[13861,26 ; 26223,61]
[45-59]	398	1170,60	[960,89 ; 1426,12]	249,31	386,90	719,85	3963,30	11573,00	15207,00	[13568,41 ; 18111,27]
[60-74]	352	726,16	[590,27 ; 893,34]	195,17	292,75	484,22	1136,00	6496,40	14247,00	[8378,78 ; 19007,01]
Sexe										
Homme	458	1129,70	[923,43 ; 1382,09]	232,87	346,70	713,30	3455,20	13414,00	18375,00	[14949,89 ; 22590,99]
Femme	641	916,10	[767,22 ; 1093,86]	201,59	332,95	625,72	1951,50	8909,60	13757,00	[10802,80 ; 17033,22]
Statut tabagique										
Fumeurs	225	5794,10	[4626,01 ; 7257,06]	896,08	3328,10	7353,30	13733,00	20942,00	27240,00	[22299,19 ; 32449,26]
Ex fumeurs	288	670,73	[570,10 ; 789,13]	221,58	333,00	568,98	1162,40	2913,00	5043,30	[3160,45 ; 7744,19]
Non-fumeurs, exposés au tabagisme passif	79	629,30	[489,78 ; 808,58]	199,53	321,45	593,54	1087,70	2007,00	2739,80	[1662,35 ; 3356,77]
Non-fumeurs, non-exposés au tabagisme passif	507	595,10	[512,65 ; 690,80]	189,16	285,56	450,38	874,69	2482,60	8764,70	[3390,38 ; 14838,24]

LOD = 15 ng L⁻¹ % > LOD = 100 % LOQ = 50 ng L⁻¹ % > LOQ = 99,8%

Tableau B1-2. Distribution des niveaux de 1-hydroxynaphtalène (1-OH-NA) urinaire (ng. g⁻¹ de créatinine) des adultes

1-OH-NA	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	1099	1376,50	[1200,83 ; 1577,95]	267,91	466,08	1003,40	3457,00	14216,00	20067,00	[17702,08 ; 23609,78]
Age (ans)										
[18-29]	74	1073,30	[683,77 ; 1684,75]	215,28	359,88	721,38	2869,50	11913,00	14515,00	[10391,84 ; 18149,85]
[30-44]	275	1242,30	[969,84 ; 1591,40]	222,55	382,47	900,29	3487,00	12935,00	19610,00	[13875,98 ; 24279,53]
[45-59]	398	1728,20	[1419,80 ; 2103,50]	302,13	559,28	1260,00	4983,00	17391,00	23145,00	[18526,90 ; 29855,12]
[60-74]	352	1363,70	[1123,76 ; 1654,99]	368,26	544,86	1023,50	2446,50	8410,90	19493,00	[9566,57 ; 27464,16]
Sexe										
Homme	458	1223,30	[999,90 ; 1496,56]	230,00	365,58	793,28	3688,30	13598,00	21081,00	[16162,50 ; 29689,71]
Femme	641	1532,10	[1301,74 ; 1803,22]	348,87	565,71	1147,30	3225,90	14345,00	19313,00	[16577,06 ; 22628,25]
Statut tabagique										
Fumeurs	225	6987,30	[5533,11 ; 8823,57]	822,56	3868,10	10006,00	16663,00	24092,00	33849,00	[24003,66 ; 40604,39]
Ex fumeurs	288	974,52	[838,35 ; 1132,81]	284,54	482,18	986,33	1754,00	3415,00	5290,80	[3709,57 ; 7910,89]
Non-fumeur, exposé au tabagisme passif	79	663,56	[509,50 ; 864,20]	244,57	340,53	571,83	1044,00	2842,70	3551,90	[2189,99 ; 3886,40]
Non-fumeur, non-exposé au tabagisme passif	507	878,16	[741,45 ; 1040,08]	223,32	394,31	687,37	1514,10	3993,20	12400,00	[4926,41 ; 21546,51]

Tableau B2-1. Distribution des niveaux de 2-hydroxynaphtalène (2-OH-NA) urinaire (ng. L⁻¹) des adultes

2-OH-NA	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	1099	4380,80	[3945,31 ; 4864,45]	1010,20	1907,80	4236,10	10061,00	20229,00	26525,00	[23516,12 ; 29720,74]
Age (ans)										
[18-29]	74	5742,90	[4194,05 ; 7863,70]	1569,30	2785,00	4923,90	13337,00	24209,00	33672,00	[21042,96 ; 52931,03]
[30-44]	275	6061,60	[5157,06 ; 7124,81]	1273,10	2806,70	6649,20	14686,00	24583,00	32271,00	[25814,95 ; 39478,11]
[45-59]	398	4431,00	[3868,95 ; 5074,71]	1139,10	1937,60	4582,00	9290,50	18146,00	22148,00	[19754,01 ; 26301,09]
[60-74]	352	2369,80	[2052,31 ; 2736,32]	668,92	1093,60	2199,90	4723,90	9843,50	14820,00	[10764,28 ; 20761,85]
Sexe										
Homme	458	4271,30	[3752,67 ; 4861,66]	1094,00	1896,10	4269,80	9555,30	18669,00	21888,00	[20382,87 ; 25264,21]
Femme	641	4480,80	[3863,17 ; 5197,11]	871,12	1914,30	4195,50	10768,00	22721,00	30150,00	[25137,46 ; 40822,08]
Statut tabagique										
Fumeurs	225	11192,00	[9395,15 ; 13332,36]	3420,30	6460,00	13052,00	20012,00	29405,00	41768,00	[30039,30 ; 52607,50]
Ex fumeurs	288	3339,50	[2773,12 ; 4021,51]	868,83	1482,10	3199,80	7220,20	14069,00	19806,00	[15329,35 ; 24904,72]
Non-fumeur, exposé au tabagisme passif	79	4914,00	[3661,30 ; 6595,41]	1600,20	2363,70	3971,30	8837,40	22115,00	33876,00	[18948,20 ; 59224,06]
Non-fumeur, non-exposé au tabagisme passif	507	3101,10	[2726,18 ; 3527,48]	777,61	1488,40	3111,40	6251,70	12528,00	19310,00	[14653,27 ; 25852,46]

LOD = 15 ng L⁻¹

% > LOD = 100%

LOQ = 50 ng L⁻¹

% > LOQ = 99,9%

Tableau B2-2. Distribution des niveaux de 2-hydroxynaphtalène (2-OH-NA) urinaire (ng. g⁻¹ de créatinine) des adultes

2-OH-NA	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	1099	5954,70	[5442,03 ; 6515,68]	1583,00	2874,70	5393,90	12718,00	22539,00	30072,00	[27506,94 ; 35224,38]
Age (ans)										
[18-29]	74	5710,60	[4357,31 ; 7484,12]	1792,70	2997,50	4638,10	13531,00	20823,00	23177,00	[20129,67 ; 26975,40]
[30-44]	275	6925,00	[5930,41 ; 8086,51]	1866,00	3113,00	6877,20	13805,00	24934,00	37361,00	[26748,83 ; 97288,92]
[45-59]	398	6541,40	[5661,39 ; 7558,25]	1639,50	2830,00	5957,70	15751,00	25725,00	35454,00	[29594,11 ; 38833,04]
[60-74]	352	4450,50	[3934,24 ; 5034,40]	1225,40	2295,90	4239,10	9387,30	14130,00	21865,00	[16368,35 ; 25724,17]
Sexe										
Homme	458	4625,10	[4139,85 ; 5167,17]	1254,80	2225,80	4181,60	10055,00	18605,00	23328,00	[20111,61 ; 28403,10]
Femme	641	7493,70	[6684,02 ; 8401,52]	2186,40	3484,00	6769,90	16445,00	26402,00	35670,00	[29730,89 ; 43555,29]
Statut tabagique										
Fumeurs	225,00	13497,00	[11604,29 ; 15697,76]	4340,80	8720,90	15705,00	23269,00	33304,00	38321,00	[33596,76 ; 43953,79]
Ex fumeurs	288,00	4852,00	[4098,61 ; 5743,87]	1222,60	2441,50	4768,00	9864,50	18080,00	23444,00	[19266,96 ; 27500,29]
Non-fumeur, exposé au tabagisme passif	79,00	5181,50	[3735,37 ; 7187,54]	1568,20	2641,60	3762,00	9946,00	22309,00	35938,00	[19639,51 ; 84278,22]
Non-fumeur, non-exposé au tabagisme passif	507,00	4576,10	[4116,43 ; 5087,13]	1471,80	2466,90	4143,70	8032,90	15219,00	20155,00	[17962,16 ; 22673,44]

Tableau B3-1. Distribution des niveaux de 2-hydroxyfluorène (2-OH-FL) urinaire (ng. L⁻¹) des adultes

2-OH-FL	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	1099	272,16	[245,63 ; 301,56]	77,57	126,07	225,27	533,60	1437,50	2078,20	[1759,96 ; 2364,43]
Age (ans)										
[18-29]	74	384,39	[276,96 ; 533,50]	108,92	177,16	357,55	837,61	1667,80	2156,10	[1502,43 ; 3146,84]
[30-44]	275	332,17	[278,16 ; 396,68]	91,66	163,80	279,86	736,64	1443,90	2106,60	[1652,09 ; 2500,51]
[45-59]	398	284,65	[247,44 ; 327,45]	91,76	131,28	219,16	553,57	1485,80	2060,20	[1647,79 ; 2502,78]
[60-74]	352	156,71	[137,49 ; 178,61]	55,47	80,82	133,53	238,70	616,19	1368,20	[797,12 ; 2021,99]
Sexe										
Homme	458	311,81	[272,46 ; 356,84]	88,10	149,64	249,93	603,02	1674,60	2255,10	[1941,12 ; 2423,69]
Femme	641	240,37	[210,31 ; 274,73]	67,68	114,04	201,58	467,89	1208,50	1671,80	[1312,19 ; 2117,77]
Statut tabagique										
Fumeurs	225	988,55	[834,74 ; 1170,70]	259,89	582,44	1151,30	1870,20	2575,30	3368,50	[2617,86 ; 4200,07]
Ex fumeurs	288	192,33	[165,06 ; 224,11]	73,01	107,91	175,62	316,23	636,51	965,72	[713,49 ; 1378,74]
Non-fumeur, exposé au tabagisme passif	79	268,92	[216,35 ; 334,26]	123,19	154,51	228,62	420,63	839,56	1150,90	[570,85 ; 1320,22]
Non-fumeur, non-exposé au tabagisme passif	507	173,79	[158,03 ; 191,12]	63,97	101,35	167,85	289,35	463,29	700,00	[504,16 ; 923,10]

LOD = 2 ng L⁻¹

% > LOD = 100%

LOQ = 5 ng L⁻¹

% > LOQ = 100%

Tableau B3-2. Distribution des niveaux de 2-hydroxyfluorène (2-OH-FL) urinaire (ng. g⁻¹ de créatinine) des adultes

2-OH-FL	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	1099	369,94	[337,03 ; 406,06]	121,03	173,94	305,42	673,44	1666,90	2346,20	[2070,73 ; 2664,95]
Age (ans)										
[18-29]	74	382,23	[285,17 ; 512,32]	119,74	176,66	313,98	850,23	1653,40	1835,20	[1597,63 ; 2022,74]
[30-44]	275	379,49	[313,84 ; 458,87]	122,44	174,03	310,50	742,11	1606,90	2387,30	[1630,12 ; 2758,45]
[45-59]	398	420,23	[366,67 ; 481,60]	133,74	182,17	341,00	877,28	2149,30	2833,90	[2326,56 ; 3578,96]
[60-74]	352	294,30	[262,86 ; 329,49]	107,74	161,41	262,42	462,14	951,18	1538,80	[1154,28 ; 2194,03]
Sexe										
Homme	458	337,63	[299,00 ; 381,25]	108,65	154,27	259,04	659,78	1597,80	2232,20	[1837,80 ; 2685,59]
Femme	641	402,00	[359,40 ; 449,65]	137,92	200,25	346,74	693,27	1710,90	2401,30	[1984,21 ; 2696,34]
Statut tabagique										
Fumeurs	225	1192,10	[1013,48 ; 1402,26]	302,15	692,98	1472,00	2253,90	3128,70	4080,90	[3297,36 ; 4800,48]
Ex fumeurs	288	279,44	[245,76 ; 317,75]	110,02	164,13	255,95	498,27	733,46	966,02	[741,18 ; 1204,45]
Non-fumeur, exposé au tabagisme passif	79	283,56	[228,97 ; 351,15]	130,06	169,41	231,24	391,18	959,53	1354,90	[685,03 ; 1602,41]
Non-fumeur, non-exposé au tabagisme passif	507	256,45	[234,35 ; 280,64]	112,39	150,37	236,66	400,48	641,40	952,45	[787,68 ; 1241,50]

Tableau B4-1. Distribution des niveaux de 3-hydroxyfluorène (3-OH-FL) urinaire (ng. L⁻¹) des adultes

3-OH-FL	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	1099	98,45	[86,51 ; 112,03]	23,13	37,77	70,16	206,74	919,20	1312,60	[1092,12 ; 1611,57]
Age (ans)										
[18-29]	74	142,94	[94,66 ; 215,84]	30,69	52,29	119,17	343,36	1042,30	1445,90	[923,27 ; 2305,33]
[30-44]	275	122,44	[97,68 ; 153,48]	26,58	47,48	95,76	273,75	952,72	1399,70	[1033,83 ; 1983,37]
[45-59]	398	106,68	[89,73 ; 126,83]	27,64	40,65	70,96	250,45	922,13	1279,30	[988,74 ; 1545,20]
[60-74]	352	51,80	[44,429 ; 60,38]	15,37	24,96	40,81	77,13	251,32	857,15	[395,72 ; 1286,56]
Sexe										
Homme	458	112,61	[95,86 ; 132,29]	25,64	43,01	80,09	237,44	1021,10	1388,90	[1151,80 ; 1630,77]
Femme	641	87,07	[73,22 ; 103,55]	19,90	34,01	60,51	174,99	777,39	1179,90	[926,92 ; 1676,88]
Statut tabagique										
Fumeurs	225	574,43	[463,29 ; 712,24]	92,43	325,14	777,97	1196,80	1901,80	2626,60	[1996,63 ; 3175,64]
Ex fumeurs	288	60,70	[51,03 ; 72,21]	20,64	31,32	55,79	105,39	214,76	350,86	[220,94 ; 784,15]
Non-fumeur, exposé au tabagisme passif	79	92,62	[71,34 ; 120,26]	32,33	47,43	84,95	154,13	313,32	508,41	[205,68 ; 772,97]
Non-fumeur, non-exposé au tabagisme passif	507	54,14	[48,79 ; 60,08]	18,28	31,28	51,38	91,66	162,89	231,72	[185,70 ; 286,99]

LOD = 2 ng L⁻¹

% > LOD = 100%

LOQ = 5 ng L⁻¹

% > LOQ = 100%

Tableau B4-2. Distribution des niveaux de 3-hydroxyfluorène (3-OH-FL) urinaire (ng. g⁻¹ de créatinine) des adultes

3-OH-FL	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	1099	133,82	[118,75 ; 150,81]	34,98	51,14	100,80	269,41	1113,30	1649,00	[1389,61 ; 1842,13]
Age (ans)										
[18-29]	74	142,13	[97,47 ; 207,26]	32,83	50,66	115,80	358,40	1017,10	1228,10	[1001,81 ; 1599,57]
[30-44]	275	139,88	[110,17 ; 177,60]	33,05	52,77	99,68	333,52	1084,80	1538,00	[1142,00 ; 1987,71]
[45-59]	398	157,49	[131,97 ; 187,95]	38,22	54,03	112,22	366,03	1527,50	2086,30	[1720,19 ; 2763,03]
[60-74]	352	97,27	[84,70 ; 111,71]	33,06	46,42	78,25	154,52	418,19	1019,50	[569,39 ; 1575,75]
Sexe										
Homme	458	121,94	[105,16 ; 141,40]	31,50	44,93	86,94	267,43	1070,10	1485,40	[1218,17 ; 1842,45]
Femme	641	145,62	[125,24 ; 169,32]	39,33	57,44	113,69	270,01	1161,90	1721,00	[1527,50 ; 2017,03]
Statut tabagique										
Fumeurs	225	692,73	[561,32 ; 854,91]	111,32	353,13	957,83	1584,30	2230,10	2914,80	[2259,15 ; 3414,09]
Ex fumeurs	288	88,19	[75,68 ; 102,77]	30,29	46,71	81,10	155,00	274,23	388,00	[285,47 ; 521,41]
Non-fumeur, exposé au tabagisme passif	79	97,66	[75,09 ; 127,03]	36,18	51,10	77,98	153,59	386,04	581,58	[290,19 ; 872,89]
Non-fumeur, non-exposé au tabagisme passif	507	79,90	[72,31 ; 88,28]	32,40	43,78	70,06	135,24	236,42	358,07	[289,20 ; 441,58]

Tableau B5-1. Distribution des niveaux de 9-hydroxyfluorène (9-OH-FL) urinaire (ng. L⁻¹) des adultes

9-OH-FL	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	1099	348,42	[324,08 ; 374,60]	126,09	207,33	336,44	566,78	986,33	1462,70	[1223,82 ; 1683,52]
Age (ans)										
[18-29]	74	441,08	[350,67 ; 554,79]	157,46	273,26	455,06	724,18	1166,60	1412,00	[1100,15 ; 1647,99]
[30-44]	275	376,06	[328,47 ; 430,56]	141,09	227,34	351,27	576,21	1036,80	1890,10	[1047,84 ; 2645,92]
[45-59]	398	333,37	[302,05 ; 367,94]	130,69	201,31	320,55	516,06	888,56	1330,30	[1059,99 ; 1561,82]
[60-74]	352	285,03	[250,01 ; 324,96]	100,05	164,37	267,15	469,57	862,12	1274,80	[963,06 ; 1813,95]
Sexe										
Homme	458	413,87	[372,21 ; 460,19]	151,68	249,27	382,41	642,83	1180,30	1712,30	[1369,42 ; 2331,77]
Femme	641	297,76	[272,51 ; 325,37]	106,57	178,55	289,43	489,24	845,29	1189,60	[946,53 ; 1577,84]
Statut tabagique										
Fumeurs	225	545,20	[489,40 ; 607,37]	222,59	339,98	543,43	902,71	1410,60	1643,30	[1428,54 ; 1845,30]
Ex fumeurs	288	341,58	[296,56 ; 393,43]	132,24	220,51	335,35	528,32	784,75	1406,30	[826,75 ; 3178,76]
Non-fumeur, exposé au tabagisme passif	79	365,34	[288,71 ; 462,32]	140,56	202,95	303,14	582,48	1118,10	1675,50	[967,54 ; 2620,08]
Non-fumeur, non-exposé au tabagisme passif	507	277,92	[253,45 ; 304,75]	103,32	167,56	276,11	442,20	734,43	1111,10	[876,54 ; 1440,99]

LOD = 5 ng L⁻¹

% > LOD = 100%

LOQ = 10 ng L⁻¹

% > LOQ = 100%

Tableau B5-2. Distribution des niveaux de 9-hydroxyfluorène (9-OH-FL) urinaire (ng. g⁻¹ de créatinine) des adultes

9-OH-FL	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	1099	473,60	[442,11 ; 507,33]	178,26	271,43	457,41	760,89	1258,00	1871,10	[1512,48 ; 2281,04]
Age (ans)										
[18-29]	74	438,59	[357,82 ; 537,61]	159,83	242,40	448,34	703,13	987,62	1303,30	[960,29 ; 1771,12]
[30-44]	275	429,63	[368,45 ; 500,97]	156,40	242,82	385,47	722,77	1268,20	2043,70	[1276,29 ; 3164,98]
[45-59]	398	492,15	[446,79 ; 542,12]	184,39	294,12	475,22	790,71	1231,20	1768,00	[1296,89 ; 2470,37]
[60-74]	352	535,29	[484,01 ; 592,01]	222,77	329,44	494,68	796,65	1452,80	1986,70	[1573,81 ; 2777,74]
Sexe										
Homme	458	448,15	[405,09 ; 495,78]	162,20	254,36	434,36	729,89	1249,10	2116,30	[1441,76 ; 2912,59]
Femme	641	497,99	[457,93 ; 541,55]	198,15	296,41	477,72	795,33	1259,70	1733,10	[1453,03 ; 1961,37]
Statut tabagique										
Fumeurs	225	657,48	[567,73 ; 761,41]	251,98	405,72	653,56	1022,70	1811,80	2709,30	[2019,04 ; 3051,97]
Ex fumeurs	288	496,29	[438,84 ; 561,25]	188,24	312,57	488,72	777,96	1179,10	1619,00	[1244,41 ; 2270,87]
Non-fumeur, exposé au tabagisme passif	79	385,23	[309,27 ; 479,85]	143,44	222,95	339,77	627,41	1088,90	2088,90	[893,53 ; 3254,78]
Non-fumeur, non-exposé au tabagisme passif	507	410,11	[372,88 ; 451,06]	165,94	239,57	384,75	658,18	1063,30	1518,20	[1232,72 ; 1885,24]

Tableau B6-1. Distribution des niveaux de 1-hydroxyphénanthrène (1-OH-PHE) urinaire (ng. L⁻¹) des adultes

1-OH-PHE	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	1099	148,59	[138,75 ; 159,13]	56,05	86,33	140,23	251,86	421,63	595,54	[502,21 ; 718,62]
Age (ans)										
[18-29]	74	176,66	[139,37 ; 223,94]	58,64	92,75	177,18	319,60	485,95	659,12	[458,88 ; 1049,05]
[30-44]	275	167,20	[148,22 ; 188,61]	62,21	104,05	161,59	281,05	460,66	675,91	[507,89 ; 743,98]
[45-59]	398	151,46	[136,03 ; 168,63]	61,25	93,11	142,73	240,93	408,59	504,14	[436,96 ; 681,98]
[60-74]	352	110,57	[100,30 ; 121,89]	47,02	67,28	103,30	165,63	301,07	423,59	[339,25 ; 697,57]
Sexe										
Homme	458	158,42	[143,64 ; 174,73]	63,32	92,21	144,70	277,61	427,95	581,69	[475,32 ; 733,71]
Femme	641	140,13	[127,19 ; 154,38]	52,53	79,59	137,11	227,75	403,05	598,82	[455,83 ; 720,01]
Statut tabagique										
Fumeurs	225	238,26	[211,43 ; 268,49]	100,28	165,93	250,74	362,01	524,58	697,24	[525,01 ; 904,82]
Ex fumeurs	288	139,14	[121,15 ; 159,79]	57,96	84,82	135,32	226,67	332,06	529,91	[354,41 ; 928,52]
Non-fumeur, exposé au tabagisme passif	79	156,65	[123,91 ; 198,04]	65,28	84,46	130,50	269,15	484,51	588,52	[437,32 ; 717,93]
Non-fumeur, non-exposé au tabagisme passif	507	120,07	[109,64 ; 131,49]	49,72	72,63	117,92	176,74	329,18	479,99	[402,69 ; 653,13]

LOD = 2 ng L⁻¹

% > LOD = 100%

LOQ = 5 ng L⁻¹

% > LOQ = 99,9%

Tableau B6-2. Distribution des niveaux de 1-hydroxyphénanthrène (1-OH-PHE) urinaire (ng. g⁻¹ de créatinine) des adultes

1-OH-PHE	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	1099	201,97	[189,83 ; 214,90]	82,32	117,7	192,77	343,92	497,8	677,95	[597,26 ; 756,63]
Age (ans)										
[18-29]	74	175,67	[143,00 ; 215,80]	64,42	100,19	162,58	309,91	444,07	559,01	[419,38 ; 643,64]
[30-44]	275	191,02	[167,90 ; 217,32]	74,97	108,4	181,48	333,2	481,73	681,87	[482,63 ; 848,14]
[45-59]	398	223,6	[202,38 ; 247,03]	90,57	132,03	218,47	373,35	542,71	719,1	[577,73 ; 934,32]
[60-74]	352	207,65	[189,88 ; 227,08]	94,93	124,76	197,09	333,17	489,97	654,76	[531,43 ; 761,85]
Sexe										
Homme	458	171,54	[156,85 ; 187,61]	66,87	102,09	163,56	283,11	453,31	651,22	[533,49 ; 770,92]
Femme	641	234,35	[216,46 ; 253,73]	99,15	136,41	230,16	388,82	523,45	693,21	[597,24 ; 792,67]
Statut tabagique										
Fumeurs	225	287,33	[256,05 ; 322,42]	120,59	177,36	308,41	434,44	631,11	780,87	[655,28 ; 950,07]
Ex fumeurs	288	202,16	[181,12 ; 225,63]	86,10	125,54	198,60	314,19	493,05	645,33	[522,58 ; 762,45]
Non-fumeur, exposé au tabagisme passif	79	165,18	[133,14 ; 204,93]	70,02	97,36	142,56	262,35	445,83	576,06	[401,09 ; 789,079]
Non-fumeur, non-exposé au tabagisme passif	507	177,18	[160,59 ; 195,49]	74,47	104,80	163,58	308,31	444,89	586,62	[465,17 ; 745,51]

Tableau B7-1. Distribution des niveaux de 2-hydroxyphénanthrène (2-OH-PHE) urinaire (ng. L⁻¹) des adultes

2-OH-PHE	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	1099	69,50	[65,43 ; 73,82]	29,34	42,59	64,74	105,19	177,08	262,55	[226,24 ; 293,42]
Age (ans)										
[18-29]	74	88,20	[71,79 ; 108,35]	35,20	53,64	83,35	138,23	235,83	273,24	[202,29 ; 295,60]
[30-44]	275	78,12	[69,54 ; 87,75]	33,83	48,82	72,42	113,99	203,20	329,42	[230,37 ; 498,22]
[45-59]	398	68,88	[62,79 ; 75,57]	32,48	43,84	63,94	105,32	154,35	220,00	[162,44 ; 268,65]
[60-74]	352	51,39	[46,47 ; 56,82]	21,84	31,30	49,65	77,00	114,55	181,75	[129,31 ; 233,35]
Sexe										
Homme	458	78,30	[71,65 ; 85,58]	35,70	48,23	72,97	115,69	192,75	286,89	[218,58 ; 474,51]
Femme	641	62,32	[57,46 ; 67,58]	25,82	37,83	59,01	94,06	157,15	250,02	[186,15 ; 278,24]
Statut tabagique										
Fumeurs	225	102,77	[93,21 ; 113,32]	45,61	67,68	105,59	145,71	237,17	281,99	[241,60 ; 308,26]
Ex fumeurs	288	64,37	[56,94 ; 72,77]	28,62	42,61	60,30	90,23	141,23	223,56	[150,16 ; 423,55]
Non-fumeur, exposé au tabagisme passif	79	76,66	[60,63 ; 96,93]	37,87	43,24	59,55	106,34	245,65	381,86	[191,53 ; 682,57]
Non-fumeur, non-exposé au tabagisme passif	507	58,23	[53,68 ; 63,17]	24,77	36,69	55,19	84,35	135,31	206,35	[159,33 ; 265,99]

LOD = 2 ng L⁻¹

% > LOD = 100%

LOQ = 5 ng L⁻¹

% > LOQ = 100%

Tableau B7-2. Distribution des niveaux de 2-hydroxyphénanthrène (2-OH-PHE) urinaire (ng. g⁻¹ de créatinine) des adultes

2-OH-PHE	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	1099	94,46	[88,60 ; 100,71]	40,96	56,78	88,27	146,44	237,45	312,14	[278,86 ; 359,27]
Age (ans)										
[18-29]	74	87,70	[72,64 ; 105,89]	36,77	49,88	81,60	139,07	203,89	248,02	[184,80 ; 305,58]
[30-44]	275	89,24	[77,93 ; 102,20]	37,34	51,68	80,32	147,51	240,19	316,12	[247,29 ; 513,08]
[45-59]	398	101,69	[92,61 ; 111,66]	45,29	62,52	94,23	151,49	261,92	334,74	[284,97 ; 423,12]
[60-74]	352	96,51	[88,21 ; 105,59]	44,75	61,79	92,45	139,12	217,29	295,79	[235,04 ; 454,77]
Sexe										
Homme	458	84,79	[77,60 ; 92,64]	37,16	50,74	78,70	128,15	231,60	328,36	[263,17 ; 471,46]
Femme	641	104,22	[96,30 ; 112,79]	46,46	64,58	100,62	157,37	238,80	304,88	[268,91 ; 340,18]
Statut tabagique										
Fumeurs	225	123,94	[110,64 ; 138,83]	52,43	78,89	121,64	188,28	270,35	391,17	[273,37 ; 489,04]
Ex fumeurs	288	93,53	[83,68 ; 104,53]	40,02	56,88	91,02	143,05	246,67	308,46	[253,63 ; 462,57]
Non-fumeur, exposé au tabagisme passif	79	80,83	[63,06 ; 103,62]	33,07	48,56	66,91	117,53	228,95	357,86	[186,96 ; 720,31]
Non-fumeur, non-exposé au tabagisme passif	507	85,93	[78,79 ; 93,73]	39,91	53,25	79,63	129,07	196,97	273,95	[230,35 ; 320,76]

Tableau B8-1. Distribution des niveaux de 3-hydroxyphénanthrène (3-OH-PHE) urinaire (ng. L⁻¹) des adultes

3-OH-PHE	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	1099	101,16	[93,98 ; 108,90]	37,23	57,60	94,49	171,75	322,00	459,52	[371,07 ; 575,01]
Age (ans)										
[18-29]	74	131,89	[103,66 ; 167,83]	53,21	71,31	118,10	248,84	411,18	526,17	[341,21 ; 606,88]
[30-44]	275	113,71	[99,32 ; 130,18]	39,63	66,95	110,92	184,67	344,70	596,34	[374,38 ; 766,20]
[45-59]	398	102,60	[92,48 ; 113,82]	39,97	58,16	96,40	175,02	281,23	366,86	[319,73 ; 424,19]
[60-74]	352	71,18	[63,42 ; 79,89]	24,41	41,91	66,66	109,12	230,19	345,31	[271,52 ; 484,96]
Sexe										
Homme	458	120,91	[108,64 ; 134,58]	43,83	64,81	109,32	206,10	355,65	587,52	[387,26 ; 778,05]
Femme	641	85,96	[77,88 ; 94,89]	32,07	50,77	80,71	139,41	267,25	375,41	[311,82 ; 459,60]
Statut tabagique										
Fumeurs	225	195,94	[174,14 ; 220,47]	71,72	119,66	202,07	332,74	462,34	597,65	[460,40 ; 783,75]
Ex fumeurs	288	87,50	[75,98 ; 100,76]	35,83	52,94	83,59	138,90	207,09	291,37	[210,16 ; 524,39]
Non-fumeur, exposé au tabagisme passif	79	111,76	[86,42 ; 144,52]	46,90	61,44	92,39	158,11	419,18	597,54	[280,19 ; 725,95]
Non-fumeur, non-exposé au tabagisme passif	507	76,93	[70,71 ; 83,70]	29,79	46,71	72,94	118,48	201,64	271,29	[220,60 ; 339,97]

LOD = 2 ng L⁻¹

% > LOD = 100%

LOQ = 5 ng L⁻¹

% > LOQ = 100%

Tableau B8-2. Distribution des niveaux de 3-hydroxyphénanthrène (3-OH-PHE) urinaire (ng. g⁻¹ de créatinine) des adultes

3-OH-PHE	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	1099	137,51	[128,08 ; 147,62]	53,71	78,50	127,56	217,48	373,17	557,23	[465,98 ; 642,30]
Age (ans)										
[18-29]	74	131,15	[105,14 ; 163,61]	50,36	70,42	115,51	233,21	354,86	468,67	[335,77 ; 641,65]
[30-44]	275	129,91	[112,69 ; 149,76]	49,33	73,90	122,24	204,54	363,56	561,64	[359,44 ; 820,80]
[45-59]	398	151,47	[136,68 ; 167,86]	58,21	87,39	142,02	228,11	411,52	589,34	[449,66 ; 826,54]
[60-74]	352	133,68	[121,44 ; 147,17]	59,97	80,78	121,02	203,36	362,84	505,39	[388,42 ; 659,71]
Sexe										
Homme	458	130,93	[118,17 ; 145,07]	49,90	72,31	117,36	205,00	416,38	619,73	[505,34 ; 801,59]
Femme	641	143,77	[132,30 ; 156,23]	60,01	86,64	138,25	225,34	355,32	475,18	[394,29 ; 577,45]
Statut tabagique										
Fumeurs	225	236,30	[207,74 ; 268,77]	88,77	152,23	226,53	370,70	569,09	807,72	[580,49 ; 1213,64]
Ex fumeurs	288	127,12	[113,58 ; 142,28]	57,36	76,02	118,64	194,61	318,54	466,92	[321,82 ; 743,17]
Non-fumeur, exposé au tabagisme passif	79	117,84	[91,21 ; 152,25]	49,57	68,61	94,22	171,41	383,12	583,42	[290,48 ; 847,59]
Non-fumeur, non-exposé au tabagisme passif	507	113,52	[103,99 ; 123,93]	48,37	70,20	108,75	171,18	260,63	353,83	[288,36 ; 454,13]

Tableau B9-1. Distribution des niveaux de 4-hydroxyphénanthrène (4-OH-PHE) urinaire (ng. L⁻¹) des adultes

4-OH-PHE	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	1099	21,90	[20,28 ; 23,66]	7,32	12,10	20,79	39,24	69,71	95,59	[85,69 ; 113,37]
Age (ans)										
[18-29]	74	29,25	[23,04 ; 37,14]	8,67	15,46	30,72	57,09	77,04	91,98	[69,99 ; 113,74]
[30-44]	275	23,36	[20,06 ; 27,21]	8,07	13,07	20,80	42,58	80,14	113,70	[88,44 ; 170,63]
[45-59]	398	22,29	[19,79 ; 25,11]	8,31	12,18	21,46	38,04	66,57	84,67	[73,43 ; 106,00]
[60-74]	352	16,14	[14,31 ; 18,19]	5,38	9,09	15,17	27,49	46,65	75,09	[53,43 ; 121,99]
Sexe										
Homme	458	23,78	[21,35 ; 26,49]	8,83	13,16	21,77	41,56	69,31	100,50	[75,71 ; 132,69]
Femme	641	20,31	[18,33 ; 22,51]	6,45	10,67	19,90	36,62	69,65	91,68	[79,35 ; 111,67]
Statut tabagique										
Fumeurs	225	37,42	[32,97 ; 42,48]	14,02	24,28	40,24	62,63	86,93	108,75	[88,96 ; 121,88]
Ex fumeurs	288	20,89	[17,99 ; 24,26]	7,56	12,68	20,30	34,01	59,03	86,26	[58,12 ; 129,24]
Non-fumeur, exposé au tabagisme passif	79	20,20	[15,60 ; 26,16]	7,90	11,35	16,34	31,04	66,58	110,29	[52,86 ; 173,35]
Non-fumeur, non-exposé au tabagisme passif	507	17,50	[15,76 ; 19,42]	6,16	10,07	15,60	28,18	58,23	83,45	[64,90 ; 105,30]

LOD = 5 ng L⁻¹

% > LOD = 94,9%

LOQ = 10 ng L⁻¹

% > LOQ = 79,9%

Tableau B9-2. Distribution des niveaux de 4-hydroxyphénanthrène (4-OH-PHE) urinaire (ng. g⁻¹ de créatinine) des adultes

4-OH-PHE	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	1099	29,77	[27,58 ; 32,14]	10,47	16,93	28,75	52,55	84,34	118,56	[97,45 ; 138,14]
Age (ans)										
[18-29]	74	29,09	[23,39 ; 36,18]	10,49	15,63	27,52	52,29	74,03	89,93	[69,19 ; 117,92]
[30-44]	275	26,69	[22,59 ; 31,54]	8,84	13,87	25,42	49,64	83,87	115,76	[92,58 ; 186,17]
[45-59]	398	32,91	[29,38 ; 36,87]	11,42	18,92	32,20	56,02	97,56	122,61	[105,34 ; 144,62]
[60-74]	352	30,30	[27,15 ; 33,83]	12,43	19,10	27,94	47,49	71,27	125,57	[75,64 ; 156,81]
Sexe										
Homme	458	25,75	[23,30 ; 28,46]	9,56	14,87	24,19	42,42	68,70	110,92	[74,16 ; 154,12]
Femme	641	33,97	[30,78 ; 37,49]	11,43	19,23	34,18	58,20	93,18	119,21	[106,60 ; 138,34]
Statut tabagique										
Fumeurs	225	45,13	[39,51 ; 51,55]	16,23	28,79	51,06	70,35	105,61	140,45	[107,29 ; 167,61]
Ex fumeurs	288	30,36	[26,87 ; 34,30]	12,41	18,40	28,14	49,80	83,43	116,67	[89,86 ; 152,89]
Non-fumeur, exposé au tabagisme passif	79	21,30	[16,33 ; 27,78]	7,63	11,82	18,97	31,46	65,32	106,77	[50,77 ; 194,86]
Non-fumeur, non-exposé au tabagisme passif	507	25,82	[23,16 ; 28,78]	9,58	14,52	24,75	41,95	68,08	95,34	[79,93 ; 130,60]

Tableau B10-1. Distribution des niveaux de 9-hydroxyphénanthrène (9-OH-PHE) urinaire (ng. L⁻¹) des adultes

9-OH-PHE	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	1099	56,36	[51,66 ; 61,49]	18,33	29,14	48,74	104,42	229,94	343,76	[291,10 ; 404,69]
Age (ans)										
[18-29]	74	62,08	[46,67 ; 82,58]	19,73	29,30	46,39	129,03	252,48	359,07	[217,98 ; 523,13]
[30-44]	275	57,27	[48,92 ; 67,04]	18,25	30,24	50,81	103,14	228,62	324,65	[273,47 ; 422,82]
[45-59]	398	62,55	[55,60 ; 70,37]	20,48	31,59	53,51	111,23	253,12	358,50	[302,22 ; 416,98]
[60-74]	352	44,79	[39,60 ; 50,67]	14,70	23,94	38,80	79,58	158,90	255,18	[177,16 ; 358,25]
Sexe										
Homme	458	64,06	[57,41 ; 71,47]	20,88	31,73	55,30	123,99	255,02	352,33	[296,46 ; 406,33]
Femme	641	50,14	[44,12 ; 56,99]	15,80	26,84	44,24	89,58	187,87	326,19	[221,41 ; 431,14]
Statut tabagique										
Fumeurs	225	153,43	[130,68 ; 180,14]	42,31	95,31	175,38	291,72	416,55	472,83	[424,67 ; 722,67]
Ex fumeurs	288	50,35	[44,37 ; 57,15]	21,11	29,93	47,72	76,25	146,45	195,28	[161,01 ; 241,66]
Non-fumeur, exposé au tabagisme passif	79	41,73	[34,01 ; 51,19]	16,69	25,87	38,30	68,21	107,47	130,17	[96,89 ; 146,75]
Non-fumeur, non-exposé au tabagisme passif	507	38,90	[35,16 ; 43,05]	15,42	23,62	35,38	60,05	100,02	147,85	[120,64 ; 210,95]

LOD = 5 ng L⁻¹

% > LOD = 99,7%

LOQ = 10 ng L⁻¹

% > LOQ = 98,0%

Tableau B10-2. Distribution des niveaux de 9-hydroxyphénanthrène (9-OH-PHE) urinaire (ng. g⁻¹ de créatinine) des adultes

9-OH-PHE	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	1099	76,61	[70,29 ; 83,50]	23,53	38,91	69,33	143,54	283,88	379,37	[335,67 ; 421,90]
Age (ans)										
[18-29]	74	61,73	[47,04 ; 81,01]	18,27	26,26	53,81	139,71	256,24	304,84	[228,41 ; 355,32]
[30-44]	275	65,43	[54,87 ; 78,01]	20,12	31,71	58,30	121,21	253,27	360,29	[251,12 ; 420,00]
[45-59]	398	92,34	[82,18 ; 103,77]	29,16	46,30	83,85	174,78	341,75	466,67	[372,24 ; 642,39]
[60-74]	352	84,12	[76,02 ; 93,09]	33,50	51,88	79,17	134,85	238,31	306,77	[263,08 ; 386,88]
Sexe										
Homme	458	69,36	[61,98 ; 77,62]	20,12	32,81	62,47	136,32	266,78	356,39	[312,97 ; 423,50]
Femme	641	83,86	[74,75 ; 94,08]	27,22	43,83	78,29	149,56	296,58	392,57	[337,18 ; 435,37]
Statut tabagique										
Fumeurs	225	185,03	[156,88 ; 218,23]	47,61	116,47	220,57	331,83	470,70	634,78	[465,39 ; 757,81]
Ex fumeurs	288	73,16	[65,83 ; 81,31]	30,61	48,60	72,04	112,21	175,66	233,32	[187,74 ; 305,12]
Non-fumeur, exposé au tabagisme passif	79	44,00	[35,81 ; 54,05]	17,55	24,11	39,80	69,99	124,48	152,25	[111,46 ; 180,82]
Non-fumeur, non-exposé au tabagisme passif	507	57,41	[51,36 ; 64,17]	20,84	31,28	54,96	97,74	161,84	234,46	[185,16 ; 287,13]

Tableau B11-1. Distribution des niveaux de 1-hydroxypyrrène (1-OH-PY) urinaire (ng. L⁻¹) des adultes

1-OH-PY	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	1099	91,13	[83,61 ; 99,33]	29,53	47,65	85,15	172,45	331,30	482,34	[399,28 ; 576,56]
Age (ans)										
[18-29]	74	133,31	[100,42 ; 176,99]	41,10	69,24	120,95	233,59	459,85	703,71	[358,41 ; 1073,09]
[30-44]	275	118,38	[101,77 ; 137,71]	38,17	66,33	113,08	221,82	385,99	558,71	[393,47 ; 741,97]
[45-59]	398	88,41	[77,45 ; 100,92]	32,19	48,31	84,99	167,41	267,18	402,47	[314,26 ; 521,92]
[60-74]	352	52,40	[46,68 ; 58,82]	20,74	31,07	49,78	79,38	163,72	271,63	[179,98 ; 384,35]
Sexe										
Homme	458	98,18	[87,39 ; 110,28]	33,15	50,14	92,52	177,13	361,80	472,49	[405,64 ; 570,77]
Femme	641	85,11	[74,99 ; 96,61]	25,06	44,98	78,38	164,25	303,73	477,45	[332,19 ; 652,41]
Statut tabagique										
Fumeurs	225	202,25	[177,88 ; 229,97]	71,37	132,74	195,88	352,31	517,48	757,50	[525,19 ; 1021,67]
Ex fumeurs	288	74,45	[64,13 ; 86,43]	25,79	43,65	70,31	139,53	225,19	322,21	[227,62 ; 445,16]
Non-fumeur, exposé au tabagisme passif	79	101,79	[73,29 ; 141,37]	32,96	56,63	94,83	152,44	420,72	658,33	[255,45 ; 1083,21]
Non-fumeur, non-exposé au tabagisme passif	507	66,65	[60,32 ; 73,66]	25,04	40,34	63,18	109,96	197,58	255,39	[219,54 ; 359,97]

LOD = 5 ng L⁻¹

% > LOD = 98,5%

LOQ = 10 ng L⁻¹

% > LOQ = 97,2%

Tableau B11-2. Distribution des niveaux de 1-hydroxypyrrène (1-OH-PY) urinaire (ng. g⁻¹ de créatinine) des adultes

1-OH-PY	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	1099	123,87	[115,17 ; 133,22]	43,90	69,81	117,15	213,47	373,71	523,98	[444,08 ; 639,92]
Age (ans)										
[18-29]	74	132,56	[102,93 ; 170,73]	46,17	71,02	125,48	226,35	377,24	507,15	[345,30 ; 1501,874]
[30-44]	275	135,25	[115,86 ; 157,87]	47,87	75,66	125,97	228,83	454,02	642,72	[449,02 ; 879,79]
[45-59]	398	130,51	[115,59 ; 147,37]	47,06	73,20	126,84	219,43	388,07	521,64	[425,02 ; 764,14]
[60-74]	352	98,41	[88,01 ; 110,04]	38,46	57,67	95,06	166,21	281,52	366,70	[304,12 ; 464,80]
Sexe										
Homme	458	106,31	[95,97 ; 117,76]	37,78	58,91	98,20	181,90	353,85	482,02	[410,10 ; 560,17]
Femme	641	142,35	[129,50 ; 156,46]	55,78	82,90	134,05	232,17	382,09	589,82	[429,62 ; 785,51]
Statut tabagique										
Fumeurs	225	243,90	[213,77 ; 278,28]	101,21	143,88	237,96	400,76	638,46	930,45	[659,07 ; 1318,87]
Ex fumeurs	288	108,17	[94,94 ; 123,24]	41,09	65,58	100,64	192,71	288,36	388,89	[293,09 ; 560,76]
Non-fumeur, exposé au tabagisme passif	79	107,33	[79,22 ; 145,40]	41,78	60,92	87,59	156,96	379,21	615,44	[262,27 ; 1148,48]
Non-fumeur, non-exposé au tabagisme passif	507	98,36	[89,64 ; 107,92]	39,68	59,93	97,78	156,66	235,04	320,14	[256,49 ; 359,59]

Tableau B12-1. Distribution des niveaux de Σ Fluorènes urinaire (ng. L⁻¹) des adultes

Σ Fluorènes	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	1099	786,77	[718,60 ; 861,41]	254,39	399,75	671,51	1489,60	3248,50	4920,90	[4544,89 ; 5615,00]
Age (ans)										
[18-29]	74	1039,60	[771,24 ; 1401,37]	322,47	515,79	995,02	1978,80	3886,80	5010,40	[3373,64 ; 6623,91]
[30-44]	275	908,41	[775,26 ; 1064,42]	287,96	503,33	748,76	1734,20	3972,20	5300,60	[4629,28 ; 6289,27]
[45-59]	398	802,15	[711,15 ; 904,80]	291,79	410,12	674,37	1494,00	3033,60	4522,40	[3576,76 ; 5640,10]
[60-74]	352	526,56	[463,49 ; 598,22]	184,54	288,99	477,18	790,03	1955,50	3512,30	[2223,37 ; 5229,76]
Sexe										
Homme	458	915,29	[811,90 ; 1031,84]	306,06	464,16	747,80	1704,80	4051,00	5361,50	[4712,00 ; 6217,14]
Femme	641	685,24	[609,16 ; 770,84]	209,91	353,99	607,06	1258,20	2599,40	4126,80	[2932,87 ; 5276,30]
Statut tabagique										
Fumeurs	225	2270,40	[1964,28 ; 2624,35]	756,83	1450,00	2455,20	4151,80	5575,10	7352,70	[5719,88 ; 9465,10]
Ex fumeurs	288	627,16	[543,06 ; 724,29]	257,32	392,56	600,63	960,32	1644,80	2858,90	[1642,19 ; 5143,23]
Non-fumeur, exposé au tabagisme passif	79	762,07	[610,44 ; 951,36]	319,82	426,66	649,88	1231,40	2038,20	3091,90	[1758,13 ; 4843,27]
Non-fumeur, non-exposé au tabagisme passif	507	528,80	[483,51 ; 578,34]	203,68	324,01	538,44	782,37	1364,40	1982,80	[1557,92 ; 2309,83]

Tableau B12-2. Distribution des niveaux de Σ Fluorènes urinaire (ng. g⁻¹ de créatinine) des adultes

Σ Fluorènes	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	1099	1069,40	[985,12 ; 1160,95]	372,50	550,83	951,60	1880,90	3948,90	5464,00	[4875,14 ; 6072,356]
Age (ans)										
[18-29]	74	1033,80	[793,07 ; 1347,50]	338,89	496,54	965,40	2009,40	3767,50	4219,80	[3696,29 ; 4698,90]
[30-44]	275	1037,80	[871,66 ; 1235,61]	355,22	515,75	864,08	1911,90	4026,10	5869,30	[3881,74 ; 7365,96]
[45-59]	398	1184,20	[1053,26 ; 1331,45]	381,64	595,31	1070,40	2103,20	4622,50	6290,40	[5008,96 ; 8071,54]
[60-74]	352	988,90	[893,63 ; 1094,32]	419,20	582,74	871,87	1556,20	2788,70	4426,20	[3079,05 ; 5932,77]
Sexe										
Homme	458	991,09	[888,29 ; 1105,79]	328,86	500,73	865,47	1759,00	3817,70	5769,20	[4430,78 ; 7962,02]
Femme	641	1146,00	[1038,22 ; 1265,00]	413,47	604,02	1036,20	1989,90	3994,00	5372,90	[4437,59 ; 5836,42]
Statut tabagique										
Fumeurs	225	2738,00	[2356,65 ; 3181,08]	817,06	1597,60	3215,90	4790,10	7116,10	9535,20	[7603,88 ; 11313,74]
Ex fumeurs	288	911,22	[809,31 ; 1025,95]	380,02	568,87	872,79	1467,30	2231,30	2809,20	[2321,06 ; 3760,76]
Non-fumeur, exposé au tabagisme passif	79	803,55	[648,01 ; 996,41]	332,87	454,23	736,49	1161,70	2310,00	4017,00	[1712,73 ; 6037,78]
Non-fumeur, non-exposé au tabagisme passif	507	780,34	[713,86 ; 853,00]	336,79	471,37	716,82	1257,40	1905,40	2616,90	[2164,39 ; 3185,56]

Tableau B13-1. Distribution des niveaux de Σ Naphtalènes urinaire (ng. L⁻¹) des adultes

Σ Naphtalènes	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	1099	6011,20	[5402,87 ; 6687,96]	1388,70	2507,50	5457,50	14953,00	29387,00	41344,00	[35501,24 ; 47814,24]
Age (ans)										
[18-29]	74	7316,20	[5269,06 ; 10158,65]	2004,30	3276,70	5913,80	18612,00	33033,00	48406,00	[28536,47 ; 73572,25]
[30-44]	275	8019,60	[6789,85 ; 9472,04]	1690,90	3482,20	8310,20	20742,00	34538,00	47468,00	[36709,41 ; 61149,52]
[45-59]	398	6220,40	[5378,52 ; 7194,15]	1536,60	2660,10	5768,30	14190,00	27099,00	36753,00	[33107,41 ; 45134,90]
[60-74]	352	3473,80	[2955,98 ; 4082,23]	940,05	1530,00	2816,00	6362,90	17067,00	31209,00	[20518,59 ; 37851,18]
Sexe										
Homme	458	6067,00	[5274,93 ; 6977,99]	1516,40	2589,20	5512,90	14113,00	31682,00	39658,00	[34859,91 ; 44918,35]
Femme	641	5957,20	[5142,48 ; 6901,09]	1215,80	2424,90	5306,30	15727,00	27513,00	44124,00	[30938,31 ; 62337,18]
Statut tabagique										
Fumeurs	225	17926,00	[15026,73 ; 21383,50]	4371,30	11030,00	21203,00	33881,00	50387,00	66341,00	[49426,37 ; 85147,80]
Ex fumeurs	288	4301,50	[3618,07 ; 5113,99]	1278,70	1949,90	4095,60	8948,50	17128,00	24258,00	[17948,94 ; 28516,33]
Non-fumeur, exposé au tabagisme passif	79	5812,40	[4384,93 ; 7704,49]	2087,50	2887,50	4629,90	10048,00	24640,00	36437,00	[21126,73 ; 61933,63]
Non-fumeur, non-exposé au tabagisme passif	507	4138,00	[3640,43 ; 4703,56]	1075,90	1958,00	4034,30	8028,20	17812,00	26169,00	[20713,99 ; 29209,79]

Tableau B13-2. Distribution des niveaux de Σ Naphtalènes urinaire (ng. g⁻¹ de créatinine) des adultes

Σ Naphtalènes	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	1099	8170,80	[7432,29 ; 8982,59]	2166,30	3570,30	7088,50	18470,00	36023,00	51331,00	[43820,58 ; 57942,81]
Age (ans)										
[18-29]	74	7275,00	[5456,43 ; 9699,714]	2232,20	3474,10	5747,00	18242,00	32091,00	38253,00	[30966,47 ; 42087,24]
[30-44]	275	9161,90	[7778,12 ; 10791,92]	2300,30	3764,10	8338,70	19633,00	36532,00	71112,00	[42158,49 ; 121284,49]
[45-59]	398	9183,10	[7922,38 ; 10644,56]	2310,20	3754,80	7928,60	20900,00	44743,00	57758,00	[50524,15 ; 69396,31]
[60-74]	352	6523,80	[5633,59 ; 7554,65]	1840,50	3132,90	5646,20	12387,00	24972,00	37898,00	[28401,99 ; 45170,27]
Sexe										
Homme	458	6569,50	[5790,66 ; 7453,02]	1792,50	2864,10	5595,50	14733,00	30930,00	42996,00	[36535,28 ; 61133,76]
Femme	641	9963,00	[8851,89 ; 11213,57]	2845,90	4479,50	8298,70	21710,00	40792,00	54837,00	[48973,09 ; 66756,49]
Statut tabagique										
Fumeurs	225	21617,00	[18343,29 ; 25474,82]	5748,10	12724,00	26388,00	40672,00	56368,00	69711,00	[57209,04 ; 75798,04]
Ex fumeurs	288	6249,70	[5346,73 ; 7305,22]	1773,00	3147,80	6247,70	11870,00	20967,00	26116,00	[21898,48 ; 30245,66]
Non-fumeur, exposé au tabagisme passif	79	6128,80	[4487,23 ; 8370,79]	2119,10	3077,50	4527,20	10940,00	24770,00	39415,00	[21338,46 ; 86937,21]
Non-fumeur, non-exposé au tabagisme passif	507	6237,40	[5534,07 ; 7030,06]	1987,50	3177,10	5248,00	11419,00	21053,00	33463,00	[23963,05 ; 43411,15]

Tableau B14-1. Distribution des niveaux de Σ Phénanthrènes urinaire (ng. L⁻¹) des adultes

Σ Phénanthrènes	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	1099	416,53	[388,88 ; 446,14]	163,04	239,68	382,81	682,72	1204,50	1654,60	[1504,17 ; 1936,72]
Age (ans)										
[18-29]	74	511,57	[405,28 ; 645,74]	190,33	279,19	501,13	917,75	1490,90	1687,40	[1359,25 ; 2128,44]
[30-44]	275	458,54	[404,38 ; 519,97]	174,29	287,08	421,95	734,72	1315,90	2024,00	[1388,15 ; 2550,76]
[45-59]	398	428,16	[387,25 ; 473,39]	183,96	249,95	391,11	684,44	1105,00	1528,60	[1195,82 ; 1917,27]
[60-74]	352	308,00	[279,00 ; 340,01]	124,42	184,03	286,54	454,58	838,42	1316,30	[983,71 ; 1591,24]
Sexe										
Homme	458	466,80	[423,92 ; 514,02]	192,62	269,25	423,64	767,14	1285,20	1891,40	[1493,87 ; 2537,50]
Femme	641	375,34	[340,92 ; 413,24]	142,10	219,73	360,22	602,69	1111,00	1580,30	[1270,60 ; 1724,38]
Statut tabagique										
Fumeurs	225	750,25	[669,09 ; 841,25]	298,45	504,00	782,10	1182,90	1651,30	2181,40	[1644,73 ; 2773,34]
Ex fumeurs	288	378,36	[332,99 ; 429,90]	168,80	241,09	354,16	580,33	860,05	1313,70	[871,42 ; 2417,87]
Non-fumeur, exposé au tabagisme passif	79	419,36	[332,17 ; 529,42]	194,22	235,13	341,00	623,63	1318,40	1786,30	[1090,72 ; 2468,32]
Non-fumeur, non-exposé au tabagisme passif	507	326,47	[299,99 ; 355,30]	138,16	206,96	324,19	474,15	781,78	1239,00	[965,42 ; 1419,54]

Tableau B14-2. Distribution des niveaux de Σ Phénanthrènes urinaire (ng. g⁻¹ de créatinine) des adultes

Σ Phénanthrènes	n	MG	IC à 95% MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC à 95% P95
Total	1099	566,17	[529,84 ; 604,99]	235,88	328,53	531,51	927,67	1465,00	1938,60	[1666,09 ; 2224,95]
Age (ans)										
[18-29]	74	508,69	[412,78 ; 626,89]	200,57	277,50	451,40	948,10	1271,20	1547,00	[1144,65 ; 1832,13]
[30-44]	275	523,86	[456,09 ; 601,70]	218,53	285,94	503,32	868,78	1424,60	2013,10	[1502,91 ; 3145,08]
[45-59]	398	632,08	[574,59 ; 695,39]	257,16	387,38	603,86	1007,30	1595,40	2092,30	[1681,83 ; 2298,02]
[60-74]	352	578,43	[532,36 ; 628,49]	283,10	359,16	532,83	860,07	1352,80	1846,00	[1401,84 ; 2310,46]
Sexe										
Homme	458	505,46	[460,94 ; 554,29]	204,05	293,74	468,09	807,16	1395,60	1981,40	[1589,47 ; 2732,80]
Femme	641	627,73	[578,22 ; 681,49]	262,21	366,68	619,74	1002,60	1489,70	1892,70	[1598,55 ; 2205,41]
Statut tabagique										
Fumeurs	225	904,75	[802,02 ; 1020,64]	336,52	572,85	977,82	1 396,10	2 002,30	2 727,50	[1995,06 ; 3583,60]
Ex fumeurs	288	549,72	[497,45 ; 607,48]	253,32	350,36	508,99	836,27	1 305,00	1 650,90	[1388,17 ; 2058,67]
Non-fumeur, exposé au tabagisme passif	79	442,18	[350,89 ; 557,22]	195,87	256,55	372,13	661,08	1 216,30	1 729,90	[1041,61 ; 2629,25]
Non-fumeur, non-exposé au tabagisme passif	507	481,77	[439,73 ; 527,82]	214,47	289,79	459,33	764,77	1 086,10	1 474,30	[1272,07 ; 1953,05]

Annexe 3. Liste des variables testées dans les modèles d'analyses statistiques (enfants et adultes)

Facteurs d'ajustements
Indice de masse corporelle, IMC
Age
Sexe
Vie en couple du référent/adulte
Ressenti de l'état financier
Situation professionnelle actuelle
Nombre d'enfants dans le foyer
Diplôme
Créatinine
Statut tabagique
Déterminants alimentaires
Consommation de pains (tous les types) et des produits de la panification
Consommation de céréales du petit déjeuner (tous les types de céréales)
Consommation d'huile, de beurre, margarine
Consommation de bœufs et veau
Consommation d'agneau et de mouton
Consommation de porc
Consommation de poulets et autres volailles
Consommation de lapin
Consommation de charcuterie (saucisson, sauce, jambon, bacon, lardon, ...)
Consommation de biscuits, gâteaux, pâtisseries
Consommation de viennoiseries
Consommation de légumes
Consommation de fruits
Consommation de poissons gras
Consommation autres poissons
Consommation de mollusques&coquillages et crustacés
Consommation de thé, café, tisanes
Consommation d'aliments provenant de son propre jardin (œuf, volaille, légumes, fruits)
Utilisation d'un barbecue, une plancha ou une pierrade pour griller vos aliments ?
Type de barbecue : bois, électrique, charbon...
Sur une année, nombre de fois/semaine utilisation barbecue
Mode de cuisson de viandes /poissons
Consommation de produits barbecue la veille de l'examen de santé (recueil urinaire)
Déterminants domestiques, résidentiels, professionnels ou géographiques
Zone d'habitation (résidentielle, commerçante, industrielle, agricole, naturelle)
Lieu d'habitation (50 mètres autour de : garage, solvant, métal)
Lieu d'habitation (200 mètres autour de déchets, incinérateurs, route)
Statut du trafic automobile dans la rue de l'habitation (fluide, dense, souvent embouteillé)
Utilisation de transport en commun : Nombre d'heures passées en moyenne/semaine en transport
Utilisation véhicule : Nombre d'heures passées en moyenne/semaine dans la voiture
Fréquence aération du logement en automne et en hiver
Fréquence aération du logement en printemps et en été
Type de chauffage principal résidentiel (chauffage électrique, chaudière collectif/individuel hors habitation, chaudière individuel dans l'habitation, radiateur à huile, cuisinière chauffante, chauffage écologique)
Principal type combustible ou énergie utilisé pour cuisiner (électricité, gaz de ville, gaz en bouteille, fioul, bois, charbon, pétrole, énergie renouvelable)
Combustible principal pour chauffer l'eau (électricité, gaz de ville, gaz en bouteille, fioul, bois, charbon, pétrole, énergie renouvelable)
Utilisation de cheminée ou poêle au cours de l'année
Présence/localisation/état de fonctionnement de ventilation mécanique (VMC) dans l'habitation
Fréquence d'utilisation d'encens (brulure à domicile)
Exposition à une ou plusieurs substances sur le lieu de travail (fioul, essence, gaz d'échappement, fumées, produits de combustion, encres, teintures, huiles, graisses)
Exposition aux poussières végétales, minérales sur le lieu de travail (bois, béton, ciment, charbon)
Vivre à 50 m autour d'un lieu (incinérateurs, métaux, solvants)
Exposition au tabac (statut tabagique chez les adultes, Exposition au tabac chez les enfants)
Saison (hiver, automne, été, printemps) par rapport à la date de réalisation de l'examen de santé (recueil urinaire)

Références

- [1] Bogey A. Surveillance biologique des expositions aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans la production d'aluminium et d'électrodes [En ligne]. UFR Médecine: Université Grenoble Alpes; 2018. 127 p. p. [consulté le 05/05/2022]. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01958114>
- [2] Gearhart-Serna LM, Jayasundara N, Tacam M, Jr., Di Giulio R, Devi GR. Assessing Cancer Risk Associated with Aquatic Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Pollution Reveals Dietary Routes of Exposure and Vulnerable Populations. *J Environ Public Health*. 2018;2018:5610462.
- [3] Alegbeleye OO, Opeolu BO, Jackson VA. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: A Critical Review of Environmental Occurrence and Bioremediation. *Environ Manage*. 2017;60(4):758-83.
- [4] Keith LH, Telliard WA. Priority pollutants I-A perspective view. *Environmental Science & Technology* 1979;13, 416e423.
- [5] Andersson JT, Achten C. Time to Say Goodbye to the 16 EPA PAHs? Toward an Up-to-Date Use of PACs for Environmental Purposes. *Polycycl Aromat Compd*. 2015;35(2-4):330-54.
- [6] Benzo[a]pyrene TRo. Integrated Risk Information System. National Center for Environmental Assessment. Office of Research and Development. Washington, DC : U.S. Environmental Protection Agency; 2017. 234 p. [consulté le 21/02/2022]. <https://iris.epa.gov/static/pdfs/0136tr.pdf>
- [7] Institut national de l'environnement industriel et des risques. Phénanthrène. Verneuil-en-Halatte: Ineris; 2021. 40 p. [consulté le 09/06/2021]
- [8] Hazardous Substances Data Bank (HSDB). National Center for Biotechnology Information "PubChem Annotation Record for Pyrene, Source : " : PubChem; 2017. [consulté le 21/02/2022]. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/source/hsdb/4023>
- [9] Institut national de l'environnement industriel et des risques. Pyrène. Verneuil-en-Halatte : Ineris; 2021. 40 p. [consulté le 21/02/2021]
- [10] Jeng HA, Pan CH, Diawara N, Chang-Chien GP, Lin WY, Huang CT, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbon-induced oxidative stress and lipid peroxidation in relation to immunological alteration. *Occup Environ Med*. 2011;68(9):653-8
- [11] Institut national de l'environnement industriel et des risques. Chrysène. Verneuil-en-Halatte : Ineris; 2022. 36 p. [consulté le 23/02/2022]. <https://substances.ineris.fr/fr/>
- [12] Institut national de l'environnement industriel et des risques. Fluorène. Verneuil-en-Halatte : Ineris; 2021. 41 p. [consulté le 23/02/2022]. <https://substances.ineris.fr/fr/>
- [13] Institut national de l'environnement industriel et des risques. Fluoranthène. Verneuil-en-Halatte: Ineris; 2021. 93 p. [consulté le 23/02/2022]. <https://substances.ineris.fr/fr/>
- [14] ATSDR. Toxicological profile for polycyclic hydrocarbons. U.S. Department of health and human services - Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry; 1995. 487 p. [consulté le 07/06/2021]. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp69.pdf>
- [15] Institut national de l'environnement industriel et des risques. Naphtalène. Verneuil-en-Halatte : Ineris; 2015. 93 p. [consulté le 23/02/2022]

- [16] Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation de l'environnement et du travail. Étude de l'alimentation totale française 2 (EAT 2), Tome 2. Résidus de pesticides, additifs, acrylamide, hydrocarbures aromatiques polycycliques. Avis de l'Anses Rapport d'expertise. Maisons-Alfort ; 2011. 405 p. [consulté le 06/12/2019]. www.anses.fr
- [17] Seo S-H, Jung K-S, Park M-K, Kwon H-O, Choi S-D. Indoor air pollution of polycyclic aromatic hydrocarbons emitted by computers. *Building and Environment*. 2022;218:109107. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132322003444>
- [18] Lodovici M, Akpan V, Evangelisti C, Dolara P. Sidestream tobacco smoke as the main predictor of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons. *J Appl Toxicol*. 2004;24(4):277-81
- [19] Vu AT, Taylor KM, Holman MR, Ding YS, Hearn B, Watson CH. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Mainstream Smoke of Popular U.S. Cigarettes. *Chem Res Toxicol*. 2015;28(8):1616-26
- [20] Ding YS, Trommel JS, Yan XJ, Ashley D, Watson CH. Determination of 14 polycyclic aromatic hydrocarbons in mainstream smoke from domestic cigarettes. *Environ Sci Technol*. 2005;39(2):471-8
- [21] Vanrooij JG, Bodelier-Bade MM, De Loeff AJ, Dijkmans AP, Jongeneelen FJ. Dermal exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons among primary aluminium workers. *Med Lav*. 1992;83(5):519-29
- [22] Cherry N, Aklilu YA, Beach J, Britz-McKibbin P, Elbourne R, Galarneau JM, et al. Urinary 1-hydroxypyrene and Skin Contamination in Firefighters Deployed to the Fort McMurray Fire. *Ann Work Expo Health*. 2019;63(4):448-58
- [23] Karttunen V, Myllynen P, Prochazka G, Pelkonen O, Segerbäck D, Vähäkangas K. Placental transfer and DNA binding of benzo(a)pyrene in human placental perfusion. *Toxicol Lett*. 2010;197(2):75-81
- [24] Zhang X, Li X, Jing Y, Fang X, Zhang X, Lei B, et al. Transplacental transfer of polycyclic aromatic hydrocarbons in paired samples of maternal serum, umbilical cord serum, and placenta in Shanghai, China. *Environ Pollut*. 2017;222:267-75
- [25] Duarte-Salles T, Mendez MA, Pessoa V, Guxens M, Aguilera I, Kogevinas M, et al. Smoking during pregnancy is associated with higher dietary intake of polycyclic aromatic hydrocarbons and poor diet quality. *Public Health Nutr*. 2010;13(12):2034-43
- [26] Langlois PH, Hoyt AT, Lupo PJ, Lawson CC, Waters MA, Desrosiers TA, et al. Maternal occupational exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons and risk of oral cleft-affected pregnancies. *Cleft Palate Craniofac J*. 2013;50(3):337-46
- [27] Edwards SC, Jedrychowski W, Butscher M, Camann D, Kieltyka A, Mroz E, et al. Prenatal exposure to airborne polycyclic aromatic hydrocarbons and children's intelligence at 5 years of age in a prospective cohort study in Poland. *Environmental health perspectives*. 2010;118(9):1326-31
- [28] O'Brien JL, Langlois PH, Lawson CC, Scheuerle A, Rocheleau CM, Waters MA, et al. Maternal occupational exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons and craniosynostosis among offspring in the National Birth Defects Prevention Study. *Birth Defects Res A Clin Mol Teratol*. 2016;106(1):55-60
- [29] Wallace ER, Ni Y, Loftus CT, Sullivan A, Masterson E, Szpiro AA, et al. Prenatal urinary metabolites of polycyclic aromatic hydrocarbons and toddler cognition, language, and behavior. *Environ Int*. 2022;159:107039

- [30] Harris KL, Banks LD, Mantey JA, Huderson AC, Ramesh A. Bioaccessibility of polycyclic aromatic hydrocarbons: relevance to toxicity and carcinogenesis. *Expert Opin Drug Metab Toxicol*. 2013;9(11):1465-80
- [31] Lee J, Kalia V, Perera F, Herbstman J, Li T, Nie J, et al. Prenatal airborne polycyclic aromatic hydrocarbon exposure, LINE1 methylation and child development in a Chinese cohort. *Environ Int*. 2017;99:315-20
- [32] Institut national de l'environnement industriel et des risques. Benzo(a)pyrène Verneuil-en-Halatte : Ineris; 2019. 84 p. [consulté le 09/06/2022].
- [33] OMS. Guidelines for indoor air quality: Selected pollutants; WHO relation office for Europe. Copenhagen : WHO ; 2010. 484 p. <http://www.euro.who.int>
- [34] Burchiel SW, Luster MI. Signaling by environmental polycyclic aromatic hydrocarbons in human lymphocytes. *Clin Immunol*. 2001;98(1):2-10
- [35] Szczeklik A, Szczeklik J, Galuszka Z, Musial J, Kolarzyk E, Targosz D. Humoral immunosuppression in men exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons and related carcinogens in polluted environments. *Environmental health perspectives*. 1994;102(3):302-4
- [36] Laupeze B, Amiot L, Sparfel L, Le Ferrec E, Fauchet R, Fardel O. Polycyclic aromatic hydrocarbons affect functional differentiation and maturation of human monocyte-derived dendritic cells. *J Immunol*. 2002;168(6):2652-8
- [37] Podechard N, Lecureur V, Le Ferrec E, Guenon I, Sparfel L, Gilot D, et al. Interleukin-8 induction by the environmental contaminant benzo(a)pyrene is aryl hydrocarbon receptor-dependent and leads to lung inflammation. *Toxicol Lett*. 2008;177(2):130-7
- [38] Poursafa P, Moosazadeh M, Abedini E, Hajizadeh Y, Mansourian M, Pourzamani H, et al. A Systematic Review on the Effects of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons on Cardiometabolic Impairment. *Int J Prev Med*. 2017;8:19
- [39] Chien YC, Yeh CT. Excretion kinetics of urinary 3-hydroxybenzo[a]pyrene following dietary exposure to benzo[a]pyrene in humans. *Arch Toxicol*. 2012;86(1):45-53
- [40] Dereumeaux C, Fillol C, Charles MA, Denys S. The French human biomonitoring program: First lessons from the perinatal component and future needs. *Int J Hyg Environ Health*. 2017;220(2 Pt A):64-70
- [41] Dereumeaux C, Fillol C, Saoudi A, Pecheux M, de Crouy Chanel P, Berat B, et al. Imprégnation des femmes enceintes par les polluants de l'environnement en France en 2011 - Tome 2 : métaux et métalloïdes [En ligne]. Saint-Maurice : Santé publique France; 2017. 225 p. [consulté le 10/09/2019]. www.santepubliquefrance.fr
- [42] Dereumeaux C, Saoudi A, Pecheux M, Berat B, de Crouy-Chanel P, Zaros C, et al. Biomarkers of exposure to environmental contaminants in French pregnant women from the Elfe cohort in 2011. *Environ Int*. 2016;97:56-67
- [43] Balicco A, Oleko A, Szego E, Boschhat L, Deschamps V, Saoudi A, et al. Protocole Esteban : une Étude transversale de santé sur l'environnement, la biosurveillance, l'activité physique et la nutrition (2014–2016) *Toxicologie analytique & clinique* 2017; 29:517-37
- [44] Haziza. D, Beaumont. JF. On the Construction of Imputation Classes in Surveys. *International Statistical Review*. International Statistical Institute (ISI) 2007;75:25-43. <https://www.jstor.org/stable/41508447>

- [45] Royston P, White I. Multiple imputation by chained equations (MICE): Implementation in Stata. *Journal of Statistical Software*. 2011;45:1-20
- [46] Little RJA, Rubin DB. *Statistical analysis with missing data*. Second edition. Wiley Series in Probability and Statistics. Second edition. New York : Wiley Series in Probability and Statistics; 2002
- [47] Barr DB, Wilder LC, Caudill SP, Gonzalez AJ, Needham LL, Pirkle JL. Urinary creatinine concentrations in the U.S. population: implications for urinary biologic monitoring measurements. *Environmental health perspectives*. 2005;113(2):192-200
- [48] StataCorp. *Stata Statistical Software : Release 14*. College Station, TX: StataCorp LP. . 2015
- [49] Lumley T. *Survey: analysis of complex survey samples*. R package version 3.35-1, 2019.
- [50] R Core Team. *A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna Australia : 2017. <https://www.R-project.org/>
- [51] Fourth Report on Human Biomonitoring of Environmental Chemicals in Canada. Results of the Canadian Health Measures Survey Cycle 4 (2014–2015) :. Santé Canada; 2017. 232 p. [consulté le 12/09/2019]. <https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/documents/services/environmental-workplace-health/reports-publications/environmental-contaminants/fourth-report-human-biomonitoring-environmental-chemicals-canada/fourth-report-human-biomonitoring-environmental-chemicals-canada-eng.pdf>
- [52] CDC - Centers of Disease Control and Prevention. Fourth National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals, Updated Tables,. Atlanta : National Center for Environmental Health; 2019. 866 p. [consulté le 12/09/2019]. https://www.cdc.gov/exposurereport/pdf/FourthReport_UpdatedTables_Volume1_Jan2019-508.pdf
- [53] Murawski A, Roth A, Schwedler G, Schmied-Tobies MIH, Rucic E, Pluym N, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in urine of children and adolescents in Germany - human biomonitoring results of the German Environmental Survey 2014-2017 (GerES V). *Int J Hyg Environ Health*. 2020;226:113491
- [54] Liu S, Liu Q, Ostbye T, Story M, Deng X, Chen Y, et al. Levels and risk factors for urinary metabolites of polycyclic aromatic hydrocarbons in children living in Chongqing, China. *Sci Total Environ*. 2017;598:553-61
- [55] Jung SK, Choi W, Kim SY, Hong S, Jeon HL, Joo Y, et al. Profile of Environmental Chemicals in the Korean Population-Results of the Korean National Environmental Health Survey (KoNEHS) Cycle 3, 2015-2017. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(2)
- [56] Charlier C, Pirard C. Programme de Biomonitoring humain Wallon (première phase) – Rapport valeurs de référence. Résultats des dosages des marqueurs urinaires de bisphénols, d'Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAPs), de pesticides pyréthrinoïdes et organophosphorés, du glyphosate, du mercure ; et des PCBs et pesticides organochlorés sanguins. 2021. 69 p. [consulté le 25/11/2021]. <https://www.issep.be/wp-content/uploads/Rapport-valeurs-de-reference-CHU.pdf>
- [57] Choi W, Kim S, Baek YW, Choi K, Lee K, Kim S, et al. Exposure to environmental chemicals among Korean adults-updates from the second Korean National Environmental Health Survey (2012-2014). *Int J Hyg Environ Health*. 2017;220(2 Pt A):29-35
- [58] Bartolomé M, Ramos JJ, Cutanda F, Huetos O, Esteban M, Ruiz-Moraga M, et al. Urinary polycyclic aromatic hydrocarbon metabolites levels in a representative sample of the Spanish adult population: The BIOAMBIENT.ES project. *Chemosphere*. 2015;135:436-46

- [59] Fernández S F, Pardo O, Pastor A, Yusà V. Biomonitoring of polycyclic aromatic hydrocarbons in the urine of lactating mothers: Urinary levels, association with lifestyle factors, and risk assessment. *Environ Pollut.* 2021;268(Pt B):115646
- [60] Iamiceli AL, Abate V, Abballe A, Bena A, De Filippis SP, De Luca S, et al. Biomonitoring of the adult population in the area of turin waste incinerator: Baseline levels of polycyclic aromatic hydrocarbon metabolites. *Environ Res.* 2020;181:108903
- [61] Pearson MA, Lu C, Schmotzer BJ, Waller LA, Riederer AM. Evaluation of physiological measures for correcting variation in urinary output: Implications for assessing environmental chemical exposure in children. *Journal of exposure science & environmental epidemiology.* 2009;19(3):336-42
- [62] European Food Safety Authority EFSA. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Food - Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain. Parma 724, 99-114 ; 2008. 114 p. [consulté le 21/06/2021]. <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2008.724>
- [63] Orecchio S, Amorello D, Barreca S. 7 - Analysis of Contaminants in Beverages. In: Grumezescu AM, Holban AM, (dir.). *Quality Control in the Beverage Industry.* : Academic Press; 2019. p. 225-58. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128166819000072>
- [64] Bansal V, Kim KH. Review of PAH contamination in food products and their health hazards. *Environ Int.* 2015;84:26-38
- [65] Nie J, Li J, Cheng L, Deng Y, Li Y, Yan Z, et al. Prenatal polycyclic aromatic hydrocarbons metabolites, cord blood telomere length, and neonatal neurobehavioral development. *Environ Res.* 2019;174:105-13
- [66] Rambaud L, Saoudi A, Zeghnoun A, Dereumeaux C, Fillol C. Elaboration de valeurs de références d'exposition à partir de données de biosurveillance [En ligne]. Saint-Maurice, France : Santé publique France; 2017. 26 p. [consulté le 24/01/2020]. <https://www.santepubliquefrance.fr>
- [67] Rambaud L, Fillol C. Élaboration de valeurs de référence en population générale à partir d'études avec biomarqueurs. *Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement.* 2017;78(2):175-81.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1775878516306579>
http://ac.els-cdn.com/S1775878516306579/1-s2.0-S1775878516306579-main.pdf?_tid=c1b81262-618a-11e7-920b-00000aacb362&acdnat=1499263604_2429439ba4254f342d19ee6a45568b65
- [68] Schulz C, Wilhelm M, Heudorf U, Kolossa-Gehring M. Update of the reference and HBM values derived by the German Human Biomonitoring Commission. *Int J Hyg Environ Health.* 2011;215(1):26-35
- [69] Saravanabhavan G, Werry K, Walker M, Haines D, Malowany M, Khoury C. Human biomonitoring reference values for metals and trace elements in blood and urine derived from the Canadian Health Measures Survey 2007-2013. *Int J Hyg Environ Health.* 2017;220(2 Pt A):189-200
- [70] Apel P, Angerer J, Wilhelm M, Kolossa-Gehring M. New HBM values for emerging substances, inventory of reference and HBM values in force, and working principles of the German Human Biomonitoring Commission. *Int J Hyg Environ Health.* 2017;220(2 Pt A):152-66
- [71] Schulz C, Wilhelm M, Heudorf U, Kolossa-Gehring M. Reprint of "Update of the reference and HBM values derived by the German Human Biomonitoring Commission". *Int J Hyg Environ Health.* 2012;215(2):150-8. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22365638>