

SANTÉ
ENVIRONNEMENT

SEPTEMBRE 2019

ÉTUDES ET ENQUÊTES

IMPRÉGNATION

DE LA POPULATION FRANÇAISE

PAR LES COMPOSÉS PERFLUORÉS

Programme national de biosurveillance,
Esteban 2014-2016

Résumé

Les composés perfluorés (PFC) sont des substances chimiques synthétiques utilisées dans un grand nombre de produits industriels et de biens de consommation courants. Fortement répandus dans l'environnement, persistants, et bioaccumulables, certains PFC font partie de la catégorie des composés organiques persistants. L'exposition de la population est généralisée par la nourriture, l'eau potable, les produits de consommation, la poussière, le sol et l'air. Malgré la réglementation de leur utilisation pour certains, leur persistance dans l'environnement, leur présence ubiquitaire et leur toxicité suspectée (cancérogénicité, perturbateur endocrinien, immuno-toxicité, métabolisme lipidique ou de la thyroïde, ...) en font des substances à surveiller.

En France, les études pour estimer les niveaux d'imprégnation de la population générale sont inexistantes. En 2011, au sein de la cohorte Elfe (Étude Longitudinale Française depuis l'Enfance), le volet périnatal du programme national de biosurveillance avait permis de fournir des premiers indicateurs de l'imprégnation des femmes enceintes par les PFC. Depuis, l'estimation de l'exposition de la population française aux composés perfluorés présents dans l'environnement a été réalisée dans Esteban. Cette estimation reposait sur le dosage dans le sérum de 17 composés perfluorés (PFC) notamment les **PFOA**, **PFPA**, **PFNA**, **PFBA**, **PFDA**, **PFHxA**, **PFHpA**, **PFUnA**, **PFHpS**, **PFHxS**, **PFDS**, **PFBS**, **PFOS** et **PFOSA** dans un sous-échantillon de 249 enfants de 6 à 17 ans et de 744 adultes de 18 à 74 ans inclus dans l'étude entre avril 2014 et mars 2016.

Les taux de quantification des composés perfluorés sont variables selon les substances, 7 étaient quantifiés à plus de 40 % chez les adultes et 6 chez les enfants. Le PFOA et le PFOS, les contributeurs les plus importants des niveaux d'imprégnation ont été quantifiés à 100 % aussi bien chez les enfants que chez les adultes. Concernant la recherche de déterminants, celle-ci n'a pu être effectuée que chez les adultes en raison du faible effectif de l'échantillon des enfants. Le choix a été fait de construire un modèle pour chacun des 6 PFC les plus quantifiés. Des différences de niveaux d'imprégnation ont été observées selon le sexe, l'âge, l'indice de masse corporelle, la consommation de poissons et des produits de la mer, de légumes, l'autoconsommation d'œufs et de lait, l'utilisation des produits ou matériaux pendant les travaux de loisirs ou de bricolage.

Les résultats de l'étude transversale Esteban, une première en France, mettent en lumière la persistance des composés perfluorés dans l'environnement malgré les restrictions d'utilisation des PFC.

MOTS CLÉS : BIOSURVEILLANCE ; ESTEBAN ; IMPRÉGNATION ; EXPOSITION ; SUBSTANCES CHIMIQUES ; ENVIRONNEMENT, POPULATION GÉNÉRALE ; COMPOSÉS PERFLUORÉS, DÉTERMINANTS ; POLLUANT ORGANIQUE ; ENFANTS

Citation suggérée : Imprégnation de la population française par les composés perfluorés. Programme national de biosurveillance, Esteban 2014-2016. Saint-Maurice : Santé publique France, septembre 2019. 58 p. Disponible à partir de l'URL : www.santepubliquefrance.fr

ISSN : 2609-2174 / ISBN-NET 979-10-289-0574-3 / RÉALISÉ PAR LA DIRECTION DE LA COMMUNICATION, SANTÉ PUBLIQUE FRANCE / DÉPÔT LÉGAL : SEPTEMBRE 2019

Abstract

Impregnation of the French population by perfluorinated compounds. National Biomonitoring Program, Esteban 2014-2016

Perfluorinated compounds (PFC) are synthetic chemicals used in a large number of industrial products and consumer goods. PFC are widely distributed in the environment, persistent, and bioaccumulative and fall into the category of persistent organic compounds. The exposure of the population is generalized by food, drinking water, consumer products, dust, soil and air. Despite the regulation of their use, their persistence in the environment, their ubiquitous presence and their suspected toxicity (carcinogenicity, endocrine disruptor, immunotoxicity, lipid or thyroid metabolism ...) make them substances to monitor.

In France, there are no studies to estimate the levels of impregnation of the general population. In 2011, in the Elfe cohort (French Longitudinal Study since Childhood), the perinatal component of the national biomonitoring program provided the first indicators of the impregnation of pregnant women by PFC. Since then, the estimation of the exposure of the French population to perfluorinated compounds present in the environment has been carried out in Esteban. This estimate was based on the serum assay of 17 perfluorinated compounds (PFC) including **PFOA, PFPA, PFNA, PFBA, PFDA, PFHxA, PFHpA, PFUnA, PFHpS, PFHxS, PFDS, PFBS, PFOS, PFOSA** in a sub-sample of 249 children aged 6 to 17 and 744 adults aged 18 to 74 included in the study between April 2014 and March 2016.

The quantification rates measured for perfluorinated compounds varied according to the substances, 7 were quantified at more than 40% in adults and 6 in children. PFOA and PFOS, the most important contributors to impregnation levels, were 100% quantified in both children and adults. As regards the search for determinants, this could only be done for adults because of the small size of the sample of children. The choice was made to build a model for each of the 6 most quantified PFC. Differences in impregnation levels were observed by sex, age, body mass index, consumption of fish and seafood, vegetables, self-consumption of eggs and milk, use of products or materials during leisure or handywork.

The results of the Esteban cross-sectional study, a first in France, highlight the persistence of perfluorinated compounds in the environment despite restrictions on the use of PFC.

KEY WORDS: BIOMONITORING; ESTEBAN; IMPREGNATION; EXPOSURE; CHEMICALS ; ENVIRONMENT, GENERAL POPULATION; PERFLUORINATED COMPOUNDS, DETERMINANTS; ORGANIC POLLUTANT; CHILDREN

Auteurs

Amivi Oleko, Alexis Balicco, Marie-Laure Bidondo, Clémence Fillol, Jessica Gane, Abdessattar Saoudi, Abdelkrim Zeghnoun

Santé publique France, Direction santé environnement travail

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.

Sommaire

Introduction	6
1. GÉNÉRALITÉS SUR LES COMPOSÉS PERFLUORÉS	7
1.1 Utilisations et réglementations	7
1.2 Exposition de la population	8
Les expositions alimentaires.....	8
L'air intérieur et les poussières domestiques.....	9
Les contacts avec les produits manufacturés	9
Les expositions professionnelles	9
1.3 Devenir dans l'organisme.....	9
Absorption et distribution	10
Métabolisme	10
Élimination	10
1.4 Effets sanitaires	10
1.5 Mesure et interprétation des niveaux biologiques des composés perfluorés	11
Mesure des niveaux d'imprégnation	11
Interprétation.....	11
Seuils sanitaires.....	11
2. MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	12
2.1 Contexte et objectifs	12
2.2 Population.....	13
2.3 Recueil des données	14
2.4 Collecte et traitement des échantillons biologiques sanguins.....	14
2.5 Dosages des composés perfluorés et des lipides sériques	15
Dosage des composés perfluorés	15
Dosage des lipides sériques.....	17
2.6 Analyses statistiques	17
Plan de sondage et pondérations.....	17
Traitement des données censurées à gauche.....	17
Analyse descriptive.....	18
Recherche des déterminants des niveaux d'imprégnation.....	18
Logiciels utilisés.....	18
3. RÉSULTATS DES ANALYSES DESCRIPTIVES NON PONDÉRÉES CHEZ LES ENFANTS	19
3.1 Résultats des dosages.....	19
Niveaux des lipides sériques	19
Niveaux de dosages des composés perfluorés chez les enfants âgés de 6 à 17 ans	19
3.2 Niveaux d'imprégnation par les PFC mesurés dans les études en France et à l'étranger chez les enfants.....	21
Niveaux mesurés en France.....	21
Niveaux mesurés dans les études étrangères	21
4. RÉSULTATS DES ANALYSES DESCRIPTIVES CHEZ LES ADULTES	24
4.1 Résultats des dosages.....	24
Niveaux des lipides sériques	24
Niveaux de dosages des composés perfluorés chez les adultes âgés de 18 à 74 ans	24
4.2 Corrélations entre les niveaux de concentration en PFC mesurés dans un échantillon d'adultes âgés de 18 à 74 ans	26
4.3 Valeurs élevées chez les adultes	27
4.4 Niveaux d'imprégnation par les PFC mesurés dans les études en France et à l'étranger chez les adultes	28
Niveaux mesurés en France.....	28
Niveaux mesurés dans les études étrangères	28

5. DÉTERMINANTS DE L'IMPRÉGNATION PAR LES COMPOSÉS PERFLUORÉS CHEZ LES ADULTES	35
6. DISCUSSION	39
7. CONCLUSION	40
Bibliographie	41
Annexe 1 / Liste des variables testées chez les adultes.....	46
Annexe 2 / Distributions des concentrations sériques des PFC par classe d'âge et par sexe	47

Introduction

Les composés poly et perfluorés (PFC) sont des substances chimiques synthétiques, d'origine anthropique obtenues par fluoration électrochimique ou polymérisation. Ils sont fabriqués depuis les années 1950. Par leur grande résistance mécanique, thermique et chimique ainsi que vis-à-vis des rayonnements ultra-violets, leurs propriétés à repousser aussi bien l'eau que les corps gras et les impuretés, les composés poly et perfluorés sont des substances, utilisées dans divers domaines industriels et produits de consommation courante. Ils sont utilisés comme imperméabilisants textiles, mousses anti-incendies, dans les revêtements antiadhésifs, certains emballages alimentaires etc. Leur persistance dans l'environnement, leur présence ubiquitaire et leur toxicité suspectée (cancérogénicité, perturbateur endocrinien, immuno-toxicité,...) en font des substances à surveiller. En effet, le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC), en 2017, a classé l'acide perfluorooctanoïque (PFOA) cancérogène possible pour l'homme (groupe 2B) et l'US-EPA [1, 2] a conclu qu'il existait des preuves d'une potentielle cancérogénicité du PFOA et du perfluorooctane sulfonate de sodium (PFOS) chez l'homme. Des augmentations du cancer des testicules et du rein ont été observées chez des humains très exposés. L'utilisation mondiale du PFOS et du PFOA a considérablement diminué depuis 2002 quand le producteur mondial (3M) a volontairement décidé d'éliminer progressivement leur utilisation. Toutefois dès 2008, des substituts à ces perfluorés ont été introduits rapidement avec comme avantage leur élimination de l'organisme plus rapide, une bioaccumulation et une toxicité plus faible [3, 4]. Le programme de biosurveillance à l'échelle européenne HBM4EU avait sélectionné les PFC lors de sa première hiérarchisation des substances dites prioritaires [5].

En France, les données concernant les PFC en population générale sont rares. En 2008, l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) a réalisé une étude (ICAR) dont l'objectif était d'estimer l'exposition aux PFC de la population française adulte, grande consommatrice de poissons d'eau douce [6]. En 2011, le volet périnatal du programme national de biosurveillance à travers la cohorte Elfe a permis de fournir des premiers indicateurs sur les niveaux d'imprégnation des femmes enceintes à l'accouchement par les composés perfluorés [7]. L'étude transversale Esteban, une Etude de Santé sur l'Environnement, la Biosurveillance, l'Activité physique et la Nutrition a permis de mesurer pour la première fois les niveaux d'imprégnation par les composés perfluorés dans la population française continentale. Les analyses des PFC qui font l'objet de ce rapport ont été réalisées sur un sous-échantillon de 744 adultes et 249 enfants inclus dans l'étude entre avril 2014 et mars 2016.

Après un rappel des généralités sur les PFC, en termes de sources d'exposition et d'effets 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 observés dans le cadre de l'étude Esteban (3) et enfin l'analyse des déterminants de l'exposition chez les adultes (4).

1. GÉNÉRALITÉS SUR LES COMPOSÉS PERFLUORÉS

1.1 Utilisations et réglementations

Les PFC, ou substances perfluoroalkylées (PFAS), sont une large famille de composés aliphatiques fluorés, comportant à la fois une chaîne carbonée perfluorée apolaire (hydrophobe) et un groupement fortement polaire (hydrophile). Cette composition leur confère une stabilité thermique et chimique très élevée ainsi qu'un caractère amphiphile à l'origine de leurs propriétés tensioactives (surfactant). Ils sont ainsi utilisés depuis les années 1950 dans de nombreuses applications industrielles et dans les produits de consommation courante : traitements antitaches et imperméabilisants (vêtements, tapis, cuir, chaussures, etc.), enduits résistants aux matières grasses (emballages alimentaires), revêtements antiadhésifs, cosmétiques, mousses anti-incendie, produits phytosanitaires (pesticides et insecticides), fluides hydrauliques pour l'aviation, produits électroniques, chromage dur, agents tensio-actifs pour les puits de pétrole et les mines, placages de métaux (chrome), etc. [8].

Il existe plusieurs catégories de composés per- et polyfluorés dont les 3 plus grandes sont :

- les **carboxylates d'alkyls perfluorés** (PFCAs) qui comprennent notamment l'acide perfluorooctanoïque (PFOA), principalement utilisés comme agents actifs dans la production de son sel d'ammonium et du polytétrafluoroéthylène utilisé comme revêtement anti-adhésif (Téflon®) ;
- les **sulfonates d'alkyls perfluorés** (PFSA) qui comprennent notamment le sulfonate de perfluorooctane (PFOS), principalement utilisés comme imperméabilisants et enduits résistants aux matières grasses ;
- les **sulfamides d'alkyls perfluorés**, qui comprennent notamment le perfluorooctanesulfonamide (PFOSA), et qui sont des précurseurs de la synthèse des autres PFC, en particulier du PFOS.

Les autres catégories de composés per- et polyfluorés sont : les fluoro-télomères alcools (FTOHs), les esters d'acide phosphoriques d'alkyls polyfluorés (PAPs), acides phosphiniques d'alkyls perfluorés (PFPIAs), acides sulfoniques de fluorotélomères (FTSs), et enfin les polyfluoropolyesters (PFPEs). Certains de ces composés sont étudiés dans des études de biosurveillance à l'étranger (Allemagne, Australie).

En 2009, le PFOS a été inclus par le Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE) dans la liste des substances couvertes par la convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants (POP) et fait ainsi l'objet d'une attention particulière en vue de protéger la santé humaine et l'environnement.

En 2015, le PFOA a été inscrit à la liste des substances couvertes par la Convention de Stockholm (décision (UE) n° 2015/633 du 20/04/15). Elle limite ainsi leur production et leur utilisation.

En France, l'usage des PFC (PFOS et PFOA) est encadré depuis 2009, du fait de l'application du règlement REACH¹ (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) relatif aux restrictions applicables à certaines substances dangereuses.

Depuis le 20 juin 2013, ces substances figurent dans la liste des substances dites SVHC (Substance of Very High Concern)², nécessitant une déclaration d'utilisation [9].

La production de certains PFC (PFOS) est en forte diminution depuis 2002 en Europe et aux Etats-Unis, mais subsiste dans d'autres pays comme la Chine [10]. Ainsi, la majorité des produits contenant des PFC sont produits en dehors de l'Union européenne (UE).

Certains pays comme le Canada ou les Etats-Unis via l'US-EPA (*Environmental Protection Agency*) et d'autres de l'Union européenne, via l'EDCH comme l'Allemagne, les Pays Bas, Le Royaume Uni, la Suède, l'Italie, le Danemark ont proposé des valeurs de concentrations réglementaires pour l'eau potable. Pour l'US-EPA, elles sont fixées à 0,07 µg L⁻¹ et pour le PFOA et le PFOS. Pour l'Allemagne, la somme des concentrations en PFOS et en PFOA ne doit pas dépasser 0,3 µg L⁻¹ et pour l'Italie, les valeurs limites dans l'eau destinée à la consommation humaine sont de 0,03 µg L⁻¹ pour le PFOS et de 0,5 µg L⁻¹ pour le PFOA .

L'Anses a été saisie en 2015 par la Direction générale de la santé (DGS) pour la réalisation d'une expertise relative à « l'évaluation des risques sanitaires liés aux composés alkyls perfluorés dans les eaux destinées à la consommation humaine ». La réponse à cette saisine a été rendue en 2017. Elle avait mis en évidence une contamination d'origine anthropique par plusieurs molécules perfluorés, fixé des valeurs sanitaires maximales pour plusieurs PFAS et avait émis des recommandations [11] à prendre en compte notamment dans le cadre de la procédure de révision de la Directive européenne 98/83/CE du 3 novembre 1998 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine.

1.2 Exposition de la population

Comme un grand nombre de polluants organiques persistants (POP), la présence des PFC dans l'environnement est uniquement d'origine anthropique et s'explique par leur relargage tout au long du cycle de vie des produits manufacturés dans lesquels ils sont utilisés. Du fait de leur large utilisation et de leurs propriétés chimiques (hydrophobe et hydrophile), les PFC se retrouvent facilement dans tous les compartiments de l'environnement : eau, air, sols et sédiments (en particulier en milieu urbain, à proximité des aéroports et des sites d'entraînement pour la lutte contre les incendies) [12, 13]. Les PFC sont également susceptibles de se bioaccumuler chez l'animal et d'être ainsi présents dans la chaîne alimentaire et *in fine* dans l'organisme humain.

Les expositions alimentaires

D'après les données de la littérature, l'alimentation (incluant l'eau de boisson) constitue la principale voie d'exposition de la population générale aux PFC, y compris chez les femmes enceintes [8, 14-16]. Selon ces études, cette voie contribuerait à plus de 90 % de l'exposition totale aux PFC.

La deuxième étude de l'alimentation totale française (EAT 2), conduite par l'Anses, a confirmé le fait que l'eau et les produits de la mer (poissons, mollusques et crustacés) sont les aliments dans lesquels les PFC sont les plus fréquemment retrouvés aux niveaux de concentration les plus élevés [14]. Selon cette étude, les PFC, en particulier les PFOA et PFOS, sont également

1. Règlement CE n°552/2009 du 22 juin 2009 concernant l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques, ainsi que les restrictions applicables à ces substances.

2. Substance jugée préoccupante du fait de propriétés cancérigène, mutagène, reprotoxique et/ou de perturbation endocrinienne et/ou de persistance dans l'environnement et/ou de bioaccumulation dans l'organisme.

retrouvés dans les viandes, volailles, gibiers et charcuteries ainsi que dans les légumes hors pommes de terre et les plats composés.

Une contamination de l'alimentation est également possible du fait de la migration des PFC présents dans les emballages en papier et carton vers les aliments [8].

Néanmoins, la plupart des PFC sont rarement mesurés à des niveaux quantifiés dans les aliments ; des concentrations inférieures à la limite de détection ont été reportées dans 98 % des échantillons analysés dans l'étude EAT 2. Le PFOS est le composé perfluoré le plus souvent quantifié dans l'alimentation.

L'air intérieur et les poussières domestiques

La présence dans l'air intérieur et les poussières domestiques de PFC constitue également une voie importante d'exposition *via* l'inhalation ou l'ingestion involontaire de poussières ; cette voie d'exposition pouvant, chez certains sujets, compter pour près de 50 % de l'exposition totale. Les PFC volatils, tel que le PFOSA, sont retrouvés dans la phase gazeuse de l'air, tandis que les PFC peu volatils, tel que le PFOA, sont retrouvés dans la phase particulaire de l'air [15]. Le PFOS est le composé présent aux concentrations les plus élevées dans l'air intérieur et les poussières, et celui qui contribue le plus à l'exposition par cette voie (14 %) [8]. Les concentrations en PFC mesurées dans l'air intérieur des bureaux sont généralement plus élevées que celles retrouvées dans l'air intérieur des logements. Cette différence pourrait s'expliquer par la présence dans ces espaces de nombreux équipements en plastiques et textiles contenant des PFC.

Seules quelques données de concentrations en PFC dans les poussières présentes dans les logements, les voitures, les classes d'école et bureaux, sont disponibles en France [17]. Des premières données de concentrations en PFC dans l'air intérieur et les poussières de logements français seront prochainement produites dans le cadre d'une convention de recherche et de développement, financée par l'Anses, entre l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm) et le Centre hospitalier universitaire (CHU) de Rennes [8].

Les contacts avec les produits manufacturés

Le contact direct avec les produits manufacturés dans lesquels les PFC sont utilisés, peut constituer une source d'exposition *via* l'absorption cutanée et l'ingestion involontaire (contact main-bouche). Cette voie d'exposition concerne essentiellement le contact avec les textiles, en particulier les vêtements qui constituent la principale source d'utilisation des PFC (au niveau mondial près de 50 % des PFC produits sont utilisés pour la fabrication des vêtements) ; parmi les vêtements, ceux pour la pratique du ski contiennent le plus de PFC. Le relargage des PFC présents dans les vêtements augmente lors du lavage [12, 18].

Les expositions professionnelles

Des expositions professionnelles peuvent également avoir lieu dans les usines de production, les métallurgies réalisant du chromage dur, les industries textiles, les sites d'entraînement à la lutte contre les incendies ou encore les sites de traitement des déchets [16, 19].

1.3 Devenir dans l'organisme

L'absorption, la distribution et le métabolisme des PFC ont été peu étudiés et seules des données issues d'études chez l'animal (principalement chez le rat), sont actuellement disponibles.

Absorption et distribution

Lors d'une exposition alimentaire, l'absorption des PFC ingérés est quasiment complète (comprise entre 50 % et 95 %) et instantanée (demi-vie d'absorption inférieure à 2 heures) [16, 19-21]. Une fois absorbés, les PFC se distribuent majoritairement dans le foie, le sang, les poumons, les reins et les os. Contrairement à la majorité des POP, les PFC n'étant qu'en partie lipophile, ils s'accumulent peu dans les tissus adipeux. La bioaccumulation dans l'organisme semble néanmoins dépendre des composés (mise en évidence d'une bioaccumulation du PFOSA dans le foie) et de l'exposition (mise en évidence d'une bioaccumulation en cas d'exposition répétée).

Aucune étude expérimentale n'a permis d'estimer chez l'homme ou l'animal le taux d'absorption et la distribution des PFC lors d'une exposition par voie respiratoire ou cutanée. Des études conduites chez le rat ont néanmoins mis en évidence l'existence d'une absorption rapide du PFOA lors d'une exposition par inhalation (demi-vie d'absorption estimée à environ 1 heure) [20].

Métabolisme

Selon les connaissances actuelles, il n'existe pas de mécanisme de métabolisation des PFC dans l'organisme. Une biodégradation des précurseurs des PFC semble néanmoins possible [22]. Le PFOA est absorbé principalement par voie orale et, dans une moindre mesure, par les voies cutanée et respiratoire. Le foie, le sang et les reins sont les sites majeurs de distribution chez le rat. Il est capable de traverser la barrière hémato-placentaire et est retrouvé principalement dans le foie fœtal. Son mode d'excrétion est fonction du sexe.

Élimination

La principale voie d'élimination des PFC absorbés par voie orale est biliaire ; néanmoins, l'élimination urinaire des PFC semble négligeable, des estimations montrant que moins de 0,1 % des PFC absorbés sont présents dans les urines [20]. Aucune étude n'a permis de déterminer la cinétique d'élimination des PFC suite à une exposition par inhalation ou par contact cutané.

Les demi-vies d'élimination des PFC, estimées chez des sujets exposés professionnellement, sont comprises entre 4 ans et 9 ans. Ces demi-vies d'élimination dépendent à la fois de la taille de la chaîne carbonée des composés (augmentation pour les chaînes carbonées longues), de l'âge du sujet (augmentation avec l'âge) et le sexe (plus rapide chez les hommes par rapport aux femmes) [23].

Chez les femmes, la grossesse et l'allaitement constituent des voies d'élimination importantes des PFC qui peuvent alors être transmis au nourrisson. En effet, des études ont mis en évidence une diminution de la charge corporelle des mères avec la parité [23, 24].

1.4 Effets sanitaires

À l'exception des PFOS et PFOA, il existe peu d'études ayant permis d'estimer l'impact sanitaire d'une exposition aux autres PFC.

Des études épidémiologiques ont rapporté des effets des PFOS et PFOA sur la reproduction : altération de la fertilité et de la morphologie spermatique [16, 24], effets hépatiques par une augmentation du taux de cholestérol et des enzymes sériques, effets cardiovasculaires par un risque d'hypertension artérielle et de pré-éclampsie, effets endocriniens par une augmentation du risque de maladies thyroïdiennes [20, 25]. Par ailleurs, un effet de l'exposition prénatale au PFOA sur le poids à la naissance a été mis en évidence [16].

Des études expérimentales conduites chez le rat ont mis en évidence l'existence d'effets sur le développement de la glande mammaire, liés à une modification de la sensibilité aux hormones stéroïdes, lors d'une exposition prénatale au PFOA [16].

1.5 Mesure et interprétation des niveaux biologiques des composés perfluorés

Mesure des niveaux d'imprégnation

Les PFC se lient facilement à l'albumine et à d'autres protéines sériques ce qui explique que les PFC circulant dans l'organisme sont principalement répartis dans le sérum [16, 20]. Ainsi, les concentrations urinaires sont inférieures à 1 % des concentrations mesurées dans le sérum [26]. De ce fait, l'évaluation de l'imprégnation par les PFC est préférentiellement basée sur des dosages sériques. Des dosages dans le lait maternel, le plasma ou encore le sang du cordon ont également été réalisés.

L'existence de formes ramifiées de certains PFC, en particulier du PFOS, a été mise en évidence en 2001 [15]. Or, il est estimé que la proportion des formes ramifiées du PFOS représente entre 27 % et 44 % de l'imprégnation sérique totale [22]. La prise en compte ou non des formes ramifiées des PFC pourrait être à l'origine de disparités entre les niveaux mesurés dans les différentes études.

Interprétation

Compte-tenu des demi-vies d'élimination des PFC dans l'organisme, le dosage biologique de ces composés traduit la dose interne accumulée au cours des mois ou années antérieures au prélèvement.

Bien que les données disponibles ne soient pas convergentes, les niveaux d'imprégnation par les PFC des femmes sont susceptibles d'être influencés par l'âge, la parité et l'allaitement d'enfant(s). Plusieurs études ont mis en évidence l'existence d'une diminution des niveaux d'imprégnation des femmes par les PFC qui pourrait s'expliquer par les modifications physiologiques pendant la grossesse et les pertes lors des menstruations [27, 28].

Seuils sanitaires

La Commission allemande de biosurveillance humaine (HBM) a publié en 2016 des valeurs HBM-I du PFOA et du PFOS. La valeur **HBM-I** correspond à la concentration en dessous de laquelle les données scientifiques du moment permettent d'estimer qu'il n'y a pas de risque d'impact sur la santé [29]. Déterminées à partir d'études de biosurveillance chez l'homme et d'études chez l'animal, la commission HBM a établi dans le plasma, en population générale, des valeurs HBM-I pour le PFOA de 2 $\mu\text{g L}^{-1}$ et pour le PFOS de 5 $\mu\text{g L}^{-1}$ basées sur les effets critiques suivants : fertilité et issues de grossesse, métabolisme lipidique, immunité, développement hormonal, métabolisme de la thyroïde et début de la ménopause [30]. Pour information, La valeur **HBM-II** correspond à la concentration au-dessus de laquelle, on peut estimer en fonction des connaissances scientifiques du moment qu'il existe un risque pour la santé chez les individus de la population générale. Cette valeur doit être considérée comme un niveau d'action. Il n'existe pas de valeur HBM-II pour les PFC.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 Contexte et objectifs

En France, la loi 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 les PNSE (Plan National Santé Environnement) 2 et 3. Ce programme, préparé entre mai 2009 et mars 2010 par un comité de pilotage mis en place et animé par Santé publique France³, 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) en 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 notamment les composés perfluorés dont les résultats ont été publiés dans le tome 1 du rapport sur « Imprégnation des femmes enceintes par les polluants de l'environnement en France en 2011 » [7, 31] ;
- l'étude nationale transversale en population générale nommée **Esteban** (Etude de Santé sur l'Environnement, la Biosurveillance, l'Activité physique et la Nutrition) conçue pour estimer l'exposition de la population à diverses substances de l'environnement (y compris dans l'alimentation) et pour améliorer la compréhension des déterminants de l'exposition.

Les objectifs du volet environnemental de l'étude Esteban concernant les composés perfluorés étaient les suivants :

- décrire les niveaux d'imprégnation par les composés perfluorés de la population française continentale, mesurés à partir de prélèvements sanguins (sérum) recueillis et établir des valeurs de référence chez les adultes (ces valeurs ne sont pas présentées ici et seront présentées ultérieurement pour l'ensemble des biomarqueurs caractérisés dans Esteban) ;
- étudier les variations temporelles des niveaux d'imprégnation par les PFC par une comparaison avec les résultats d'études antérieures menées en France et à l'étranger ;
- analyser les déterminants des niveaux d'imprégnation de la population adulte.

Dans le cadre de l'étude Esteban, 17 biomarqueurs d'acides perfluorocarboxyliques, de sulfonates perfluorés et de sulfamides perfluorés ont été recherchés. La liste détaillée des biomarqueurs analysés est présentée dans le tableau 1. Elle est identique à celle du volet périnatal réalisée en 2011 [7].

3. 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.

I TABLEAU 1 I

Liste des PFC dosés dans l'étude Esteban

Biomarqueur	Formule chimique	Abréviation	Numéro CAS
Carboxylates d'alkyls perfluorés (PFCA)			
Acide perfluorobutanoïque	CF ₃ (CF ₂) ₂ COOH	PFBA	375-22-4
Acide perfluoropentanoïque	CF ₃ (CF ₂) ₃ COOH	PFPA	376-72-7
Acide perfluorohexanoïque	CF ₃ (CF ₂) ₄ COOH	PFHxA	307-24-4
Acide perfluoroheptanoïque	CF ₃ (CF ₂) ₅ COOH	PFHpA	375-85-9
Acide perfluorooctanoïque	CF ₃ (CF ₂) ₆ COOH	PFOA	335-67-1
Acide perfluorononanoïque	CF ₃ (CF ₂) ₇ COOH	PFNA	375-95-1
Acide perfluorodécanoïque	CF ₃ (CF ₂) ₈ COOH	PFDA	335-76-2
Acide perfluoroundécanoïque	CF ₃ (CF ₂) ₉ COOH	PFUnA	2058-94-8
Acide perfluorododécanoïque	CF ₃ (CF ₂) ₁₀ COOH	PFDoA	307-55-1
Sulfonates d'alkyls perfluorés (PFSA)			
Perfluorobutanesulfonate de sodium	C ₄ F ₉ SO ₃ Na	PFBS	29420-49-3
Perfluorohexanesulfonate de sodium	C ₆ F ₁₃ SO ₃ Na	PFHxS	355-46-4
Perfluoroheptanesulfonate de sodium	C ₇ F ₁₅ SO ₃ Na	PFHpS	375-92-8
Perfluorooctanesulfonate de sodium	C ₈ F ₁₇ SO ₃ Na	PFOS	2795-39-3
Perfluorodecanesulfonate de sodium	C ₁₀ F ₂₁ SO ₃ Na	PFDS	335-77-3
Sulfamides d'alkyls perfluorés			
n-Éthylperfluoro-1-octanesulfonamide	C ₁₂ H ₈ F ₁₇ NO ₄ S	n-EtPFOSA-AcOH	2991-50-6
n-Méthylperfluoro-1-octanesulfonamide	C ₁₁ H ₆ F ₁₇ NO ₄ S	n-MePFOSA-AcOH	2355-31-9
Perfluoro-1-octanesulfonamide	C ₉ H ₄ F ₁₇ NO ₂ S	PFOSA	754-91-6

2.2 Population

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. 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.

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 PFC dans le sérum a été réalisé sur un sous-échantillon aléatoire de 742 adultes et 249 enfants chez lesquels la quantité de matrice sérique était suffisante pour la réalisation du dosage.

2.3 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 papier ou internet selon le choix des participants).

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 décrivant le protocole de l'étude [32].

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) ont été effectués 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.

2.4 Collecte et traitement des échantillons biologiques sanguins

Lors de l'examen de santé, le sang veineux était recueilli sur tube sec sans gel séparateur mais avec un activateur de coagulation. Le délai entre les prélèvements et le traitement des tubes (dosages et aliquotage) ne devait pas dépasser 4 heures si la centrifugation des tubes de sang n'avait pas été effectuée dans les 2 heures après le prélèvement. Lorsque l'examen de santé était réalisé à domicile, les infirmiers conservaient les tubes de prélèvements dans des glacières contenant des blocs réfrigérants (sans contact direct avec les tubes), permettant leur transport jusqu'aux laboratoires. Les tubes secs ont été laissés à coaguler pendant 30 minutes et conservés à l'abri de la lumière (en vue des dosages nutritionnels ultérieurs). Un relevé de température a été effectué à l'arrivée des prélèvements aux laboratoires pour prendre en compte la température lors du transport des prélèvements. L'intégralité des tubes de prélèvements ont été conservés au laboratoire à une température comprise entre +4°C et +10°C dans l'attente des traitements nécessaires (dosages biologiques immédiats, centrifugation et aliquotage des matrices en plus petits volumes et cryoconservation). La centrifugation a été réalisée à 2500 g pendant 15 minutes environ. Pour la réalisation du dosage des composés perfluorés, le sérum obtenu après centrifugation a été aliquoté en cryotube en polypropylène (PP) de haute densité en petits volumes.

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. Un transport des échantillons des laboratoires vers le CRB 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 prélèvements, de traitement et de stockage des échantillons de chaque participant et de prendre en compte les écarts ou anomalies observés.

Dans le cadre de cette étude, 744 échantillons de sérum d'adultes et 249 échantillons de sérum d'enfants ont été mis à la disposition du laboratoire pour la réalisation des dosages des composés perfluorés et des lipides sériques. Ces échantillons ont été transportés congelés entre - 80°C et - 60°C, vers le laboratoire de dosage. Le temps de transport des échantillons de la bibliothèque vers le laboratoire 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 a 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.).

2.5 Dosages des composés perfluorés et des lipides sériques

Dosage des composés perfluorés

Le laboratoire LABERCA/ONIRIS disposait d'un volume de 2 mL de sérum pour réaliser l'analyse. Les échantillons de sérum étaient conditionnés dans des cryotubes en polypropylène (PP) de 1, 2 ou 3 mL. Le laboratoire a développé une méthode analytique permettant le dosage de ces composés par chromatographie en phase liquide couplée à la spectrométrie de masse en tandem (LC-MS/MS). L'analyse nécessitait une extraction à l'aide d'une solution méthanolique d'hydroxyde de potassium 0,1M puis une purification SPE (extraction sur phase solide) sur des cartouches de type OASIS HLB et Envi Carb.

La limite de détection (LOD) et la limite de quantification (LOQ) ont été déterminées par le laboratoire avec une probabilité donnée.

La LOD et la LOQ calculées pour toutes les molécules sont présentées dans le tableau 2. Elles étaient spécifiques à chaque composé perfluoré.

Une LOQ maximale définie comme la valeur maximale quantifiable par la méthode en condition standard a été déterminée à 100 µg L⁻¹ pour chaque analyte.

I TABLEAU 2 I

Limites de détection (LOD) et de quantification (LOQ) atteintes pour les dosages des PFC ($\mu\text{g L}^{-1}$)

Famille / Congénères	LOD ($\mu\text{g L}^{-1}$)	LOQ ($\mu\text{g L}^{-1}$)
Carboxylates d'alkyls perfluorés		
PFBA	0,20	0,50
PFFA	0,02	0,05
PFHxA	0,05	0,20
PFHpA	0,05	0,20
PFOA	0,02	0,05
PFNA	0,05	0,20
PFDA	0,05	0,20
PFUnA	0,02	0,05
PFDaA	0,02	0,05
Sulfonates d'alkyls perfluorés		
PFBS	0,05	0,19
PFHxS	0,05	0,19
PFHpS	0,05	0,19
PFOS	0,03	0,10
PFDS	0,05	0,19
Sulfamides d'alkyls perfluorés		
n-EtPFOSA-AcOH (n-EtFOSAA)	0,02	0,05
n-MePFOSA-AcOH (n-MeFOSAA)	0,02	0,05
PFOSA	0,05	0,20

La courbe de calibration a été réalisée grâce à 5 points de concentration et vérifiée tous les 100 échantillons. De même, l'étalonnage proche de la LOQ a été vérifié tous les 20 échantillons. Un « blanc méthode » a été analysé tous les 10 échantillons pour garantir la non-contamination du circuit analytique. Des contrôles de qualité internes (CQI) ont été dosés au cours des séries analytiques sur plusieurs niveaux de concentration pour établir des cartes de contrôle et satisfaire aux critères de Westgard. Les calculs de fidélité intermédiaire et d'incertitude ($k=2$) ont été réalisés sur plusieurs niveaux de concentrations (proche LOQ, moyen et élevé).

Afin d'apprécier la fidélité intermédiaire des analyses, 6 réplicats ont été introduits à l'aveugle dans les séries analytiques, c'est-à-dire que deux cryotubes appartenant au même sujet ont fait l'objet d'un dosage, avec des identifiants différents. Ces 6 couples de réplicats ont été analysés, avec des résultats concordants pour l'ensemble des 17 composés perfluorés analysés dans l'étude Esteban.

Sur un total de 993 dosages de composés perfluorés prévus correspondant à 744 échantillons « adultes » et 249 échantillons « enfants », un échantillon de sérum d'un adulte a été redosé car les valeurs dépassaient la limite de quantification maximale (LOQ max). Les deux dosages ont été concordants, ce qui permettait d'écartier un éventuel problème isolé de contamination extérieure. Aucune difficulté n'a été rencontrée lors du dosage des échantillons de sérum de ce lot de biomarqueurs.

Dosage des lipides sériques

Le dosage des lipides sériques était réalisé sur une fraction de l'échantillon de sérum transmis au laboratoire (environ 0,5 mL). L'analyse concernait les quatre paramètres lipidiques permettant le calcul des lipides totaux (TL) : cholestérol total (TC), cholestérol non-estérifié (FC), triglycérides (TG) et phospholipides (PL). Le dosage des lipides était réalisé par méthode enzymatique, conformément au protocole présenté dans la publication d'Akins JR en 1989 [33]. Le dosage était effectué indépendamment de la préparation de l'échantillon pour le dosage des PFC.

Les lipides totaux ont été calculés selon l'équation : $TL = 1,677*(TC-FC) + FC + TG + PL$ [33].

2.6 Analyses statistiques

Afin de tenir compte de l'adiposité de l'individu pour lequel les dosages des PFC ont été réalisés, les résultats de dosage ont été ajustés sur la concentration en lipides sériques. La distribution des niveaux d'imprégnation est présentée à la fois en $\mu\text{g L}^{-1}$ et en $\mu\text{g/g}$ de lipides.

Plan de sondage et pondérations

Le plan de sondage de l'étude Esteban est un plan de sondage 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. 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—100 000 habitants ; > 100 000 habitants, Paris et région parisienne). Le plan d'échantillonnage est décrit de façon détaillée dans l'article du protocole de l'étude [32].

Le dosage des composés perfluorés a été réalisé sur un sous-échantillon aléatoire de sujets parmi les individus qui avaient accepté de participer au volet biologique de l'étude et disposaient d'une quantité de sérum suffisante dans la collection biologique pour permettre l'analyse biologique.

Le processus de calcul des pondérations a été effectué en trois étapes. La première étape a consisté à établir des pondérations initiales dues au plan de sondage. En second lieu, les poids ont été ajustés par rapport à la non-réponse totale. Cette étape a été réalisée en utilisant la méthode des scores, 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 [34]. 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...).

Traitement des données censurées à gauche

Pour chaque biomarqueur mesuré, la LOD et la LOQ étaient constantes pour l'ensemble des échantillons analysés. Certaines concentrations pouvaient être à des niveaux non détectés (inférieurs à la LOD), ou détectés mais non quantifiés (compris entre la LOD et la LOQ).

Pour traiter ce type de données, la méthode d'imputation multiple par équations chaînées (Multiple Imputation by Chained Equations, MICE), implémentée sous STATA (ICE) a été utilisée [35].

Cette méthode a l'avantage de prendre en compte l'incertitude liée à l'imputation au processus des données censurées. Elle consiste à générer M bases de données complètes (ici M=10), en

utilisant un modèle d'imputation [36]. Chaque base de données complète est analysée séparément par des méthodes standards et fournit M estimateurs du paramètre d'intérêt (moyenne géométrique, percentiles, etc.), qui sont ensuite combinés pour tenir compte de l'incertitude résultant de la méthode d'imputation multiple [37]. L'estimateur combiné du paramètre d'intérêt est obtenu par la moyenne des M estimateurs. La variance combinée de cet estimateur est calculée en prenant en compte les variances inter- et intra-imputation.

Analyse descriptive

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 % pour la moyenne géométrique et le percentile 95 (P95). Les résultats sont présentés pour la population totale, par sexe et par tranche d'âge. Les résultats pour l'échantillon des enfants sont non pondérés en raison notamment du faible effectif (n=249).

Recherche des déterminants des niveaux d'imprégnation

Aucune recherche de déterminants n'a été faite chez les enfants âgés de 6 à 17 ans en raison du faible effectif de l'échantillon (n=249).

Chez les adultes, les déterminants de l'imprégnation par les PFC ont été identifiés par une analyse de régression multi-variables. Un modèle linéaire généralisé (Generalized linear Model) a été utilisé. Les concentrations en PFC 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. Par ailleurs d'autres facteurs de confusion et d'exposition ont été sélectionnés lors de la modélisation en se basant sur des critères statistiques tels que le critère d'information d'Akaike (AIC). La forme de la relation entre l'imprégnation et les facteurs de risque et d'ajustement quantitatifs a été ajustée en utilisant des fonctions splines cubique naturelle.

La construction du modèle (choix du nombre de degré de liberté des fonctions splines) et la validation du modèle (vérification de la normalité et de l'homoscédacité des résidus) ont été effectuées sur un seul jeu de données imputées. Toutes les analyses réalisées ont pris en compte le plan d'échantillonnage de l'étude.

L'estimation des paramètres du modèle final a été réalisée sur 10 jeux de données imputées. Les résultats sont présentés sous forme de pourcentage de variation des concentrations en PFC :

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

Six modèles ont été construits pour chacun des PFC quantifiés à plus de 60 % :

- PFOA, PFNA, PFDA, PFUnA pour la catégorie des carboxylates d'alkyles perfluorés ;
- PFHxS et PFOS pour la catégorie des sulfonates d'alkyls perfluorés.

Les variables testées pour les adultes pour les composés perfluorés sont listées en annexe 1.

Logiciels utilisés

Les analyses statistiques ont été réalisées avec la version 14 de STATA [38] et la version 3.5.2 de R [39] qui, via le package (SURVEY), permet l'analyse des données issues d'un plan de sondage complexe.

3. RÉSULTATS DES ANALYSES DESCRIPTIVES NON PONDÉRÉES CHEZ LES ENFANTS

3.1 Résultats des dosages

Niveaux des lipides sériques

La concentration moyenne de lipides totaux mesurée chez les 249 enfants de la population d'enfants de l'étude Esteban, âgés de 6 à 17 ans et ayant fait l'objet d'un dosage de PFC était égale à 5,17 g L⁻¹.

Les concentrations moyennes de lipides totaux mesurées chez les 249 enfants sont présentées dans le tableau 3.

I TABLEAU 3 I

Valeurs moyennes, minimales et maximales des paramètres lipidiques des enfants

Paramètres	Effectif	Moyenne (g L ⁻¹)	Minimum (g L ⁻¹)	Maximum (g L ⁻¹)
Lipides totaux	249	5,17	3,41	8,05

Niveaux de dosages des composés perfluorés chez les enfants âgés de 6 à 17 ans

Les taux de quantification des composés perfluorés dans l'échantillon des enfants de l'étude Esteban étaient variables selon les composés (% > LOQ compris entre 0 % et 100 %). Les distributions (en µg L⁻¹ et en µg/g de lipides) des niveaux d'imprégnation des différents composés de perfluorés mesurés dans le sérum sont présentées dans les tableaux 4 et 5. Six perfluorés (PFOA, PFNA, PFDA, PFUnA, PFHxS, PFOS) sur les 17 dosés ont des taux de quantification supérieurs à 40 %. Parmi les 11 composés dont le taux de quantification était inférieur à 40%, le n-MeFOSAA était le plus quantifié (% > LOQ = 21,29 %).

Les moyennes géométriques de la concentration sérique des 2 plus gros contributeurs à l'exposition aux composés perfluorés dans notre échantillon d'enfants étaient égales à **2,22 µg L⁻¹** (0,41 µg/g de lipides) pour le **PFOS** et **1,56 µg L⁻¹** (0,31 µg/g de lipides) pour le **PFOA**. Les 95^e percentiles (P95) étaient égaux à **6,12 µg L⁻¹** (1,17 µg/g de lipides) pour le **PFOS** et **2,76 µg L⁻¹** (0,57 µg/g de lipides) pour le **PFOA**. Les autres principaux contributeurs de l'imprégnation par les PFC étaient le PFHxS, le PFNA, le PFDA et le PFUnA.

Les distributions des différents composés perfluorés par classe d'âge et par sexe sont présentées en annexe 2.

Après ajustement sur les lipides sériques, il était observé une imprégnation en PFC relativement plus élevée chez les garçons que chez les filles. La moyenne géométrique des niveaux d'imprégnation du PFOA et du PFOS était, respectivement, de 0,34 et 0,48 µg/g de lipides chez les garçons alors qu'elle était de 0,28 et 0,40 µg/g de lipides chez les filles.

I TABLEAU 4 I

Distributions des concentrations sériques en PFC ($\mu\text{g L}^{-1}$) observées chez les enfants âgés de 6 à 17 ans, Esteban (2014-2016)

Biomarqueurs	n	%>LOQ	MG	IC 95 % MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC 95 % P95
Carboxylates d'alkyls perfluorés											
PFBA	249	0,40	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
PFPA	249	0,40	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
PFHxA	249	0,00	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
PFHpA	249	5,22	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,168	[0,130 ; 0,240]
PFOA	249	100,00	1,564	[1,492 ; 1,640]	1,010	1,260	1,540	1,885	2,463	2,760	[2,520 ; 3,333]
PFNA	249	99,60	0,607	[0,572 ; 0,644]	0,370	0,452	0,570	0,757	1,040	1,349	[1,098 ; 1,910]
PFDA	249	71,08	0,243	[0,230 ; 0,256]	0,141	0,186	0,237	0,314	0,417	0,546	[0,447 ; 0,615]
PFUnA	249	95,58	0,117	[0,109 ; 0,125]	0,060	0,080	0,120	0,160	0,230	0,290	[0,240 ; 0,323]
PFDoA	249	8,03	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,060	[0,040 ; 0,070]
Sulfonates d'alkyls perfluorés											
PFBS	249	0,00	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
PFHxS	249	99,60	0,793	[0,739 ; 0,851]	0,429	0,570	0,725	1,047	1,531	2,256	[1,655 ; 3,467]
PFHpS	249	3,21	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
PFOS	249	100,00	2,220	[2,058 ; 2,395]	1,120	1,550	2,000	2,947	4,922	6,124	[5,188 ; 8,259]
PFDS	249	0,40	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sulfamides d'alkyls perfluorés											
n-EtFOSAA	249	1,60	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
n-MeFOSAA	249	21,29	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,091	0,130	[0,110 ; 0,186]
PFOSA	249	0,00	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC

NC : non calculé en raison du taux de censure important (>40 %)

I TABLEAU 5 I

Distributions des concentrations sériques en PFC ($\mu\text{g/g}$ de lipides) observées chez les enfants âgés de 6 à 17 ans, ajustés sur les lipides sériques, Esteban (2014-2016)

Biomarqueurs	n	MG	IC 95 % MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC 95 % P95
Carboxylates d'alkyls perfluorés										
PFBA	249	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
PFPA	249	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
PFHxA	249	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
PFHpA	249	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,036	[0,030 ; 0,053]
PFOA	249	0,306	[0,291 ; 0,322]	0,187	0,229	0,296	0,390	0,503	0,570	[0,527 ; 0,639]
PFNA	249	0,118	[0,112 ; 0,126]	0,068	0,086	0,115	0,153	0,207	0,303	[0,217 ; 0,408]
PFDA	249	0,047	[0,045 ; 0,050]	0,027	0,036	0,046	0,062	0,083	0,109	[0,086 ; 0,125]
PFUnA	249	0,023	[0,021 ; 0,024]	0,012	0,015	0,023	0,031	0,047	0,057	[0,048 ; 0,064]
PFDoA	249	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,011	[0,009 ; 0,014]
Sulfonates d'alkyls perfluorés										
PFBS	249	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
PFHxS	249	0,155	[0,144 ; 0,167]	0,078	0,112	0,141	0,203	0,329	0,452	[0,356 ; 0,583]
PFHpS	249	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
PFOS	249	0,435	[0,402 ; 0,470]	0,223	0,302	0,383	0,592	0,920	1,172	[1,016 ; 1,514]
PFDS	249	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sulfamides d'alkyls perfluorés										
n-EtFOSAA	249	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
n-MeFOSAA	249	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,026	[0,020 ; 0,040]
PFOSA	249	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC

NC : non calculé en raison du taux de censure important (>40 %)

3.2 Niveaux d'imprégnation par les PFC mesurés dans les études en France et à l'étranger chez les enfants

Niveaux mesurés en France

En France, il n'existe pas d'autres études mesurant les composés perfluorés chez les enfants. Ainsi, l'étude Esteban fournit les premiers niveaux d'imprégnation par les PFC dans un échantillon de 249 enfants vivant en France continentale sur la période de 2014 à 2016.

Niveaux mesurés dans les études étrangères

Les études étrangères retenues dans le tableau 6 étaient pour la plupart sur des périodes d'études similaires ou proches et sur des tranches d'âges similaires à l'étude Esteban.

Au Canada [40, 41], l'enquête ECMS dont le cycle 2 était conduit en 2009-2011 avait permis de mesurer 9 composés perfluorés chez les adolescents âgés de 12 à 19 ans. Les niveaux de PFOS obtenus dans cette étude étaient bien plus élevés que dans Esteban. La moyenne géométrique pour le PFOS était de $4,6 \mu\text{g L}^{-1}$, alors que dans l'étude Esteban, elle était de $2,2 \mu\text{g L}^{-1}$. Les mêmes observations étaient faites pour le PFOA, le PFNA et le PFHxS. Sur les 9 composés perfluorés analysés, 6 ont été détectés à plus de 40 % : le PFOA, le PFNA, le PFDA, le PFUnA, le PFHxS et le PFOS.

Aux Etats Unis [42], dans l'étude Nhanes (National Health and Nutrition Examination Survey), en 2015- 2016, les niveaux d'imprégnation étaient légèrement supérieurs à ceux observés dans Esteban pour le PFOS et le PFHxS et légèrement inférieurs pour le PFOA et le PFNA pour les adolescents de 12 à 19 ans.

En Corée du Sud, l'étude réalisée auprès de 120 enfants de 5 à 13 ans en 2012 montraient des niveaux d'imprégnation largement supérieurs à ceux observés dans la présente étude Esteban, pour l'ensemble des composés perfluorés [43].

I TABLEAU 6 I

Comparaison des concentrations sériques moyennes en composés perfluorés (en $\mu\text{g L}^{-1}$) observées chez les enfants en France et à l'étranger

Pays/ étude	Année	Population	N	Matrice	%>LOQ ou %>LOD	LOD ($\mu\text{g L}^{-1}$)	LOQ ($\mu\text{g L}^{-1}$)	MG ($\mu\text{g L}^{-1}$)	P95 ($\mu\text{g L}^{-1}$)
PFOA									
France - Esteban	2014-2016	6 -17 ans	249	Sérum	100 (LOQ)	0,02	0,05	1,56	2,76
Italie (Sicile) [44]	2016	6-11 ans	61	Sérum	87 (LOQ)	0,374	0,3	2,0 (Med)	2,64 (P75)
Canada ECMS (cycle 2) [40]	2009-2011	12-19 ans	507	Plasma	100 (LOD)	0,10	ND	2,10	4,10
Etats-Unis, Nhanes ‡ [42]	2015-2016	12-19 ans	353	Sérum	ND	ND	ND	1,25	2,47
Australie ** [45]	2016-2017	5-15 ans	4 pools	Sérum			0,09	1,92 (MA)	4,00
Corée (Sud) [43]	2012	5-13 ans	120	Sérum	100 (LOD)	0,182		5,15	ND
PFNA									
France - Esteban	2014-2016	6 -17 ans	249	Sérum	99,60 (LOQ)	0,05	0,20	0,61	1,35
Italie (Sicile) [44]	2016	6-11 ans	61	Sérum	100 (LOQ)	0,194	0,1	<LOQ	0,87 (P75)
Canada ECMS (Cycle 2) [40]	2009-2011	12-19 ans	507	Plasma	98,82 (LOD)	0,20	ND	0,71	1,70
Etats-Unis, Nhanes [42]	2015-2016	12-19 ans	353	Sérum	ND	0,10	ND	0,48	1,20
Australie [45]	2016-2017	5-15 ans	4 pools	Sérum			0,09	0,38 (MA)	0,9
Corée (Sud) [43]	2012	5-13 ans	120	Sérum	78 (LOD)	0,230		1,72	ND
PFDA									
France - Esteban	2014-2016	6 -17 ans	249	Sérum	71,08 (LOQ)	0,05	0,20	0,24	0,55
Italie (Sicile) [44]	2016	6-11 ans	61	Sérum	67,9 (LOQ)	0,296	0,2	0,36 (Med)	0,41 (P75)
Canada ECMS (Cycle 2) [40]	2009-2011	12-19 ans	507	Plasma	73,57 (LOD)	0,10	ND	0,15	0,39
Etats-Unis, Nhanes [42]	2015-2016	12-19 ans	353	Sérum	ND	0,10	ND	NC	0,30
Australie ** [45]	2016-2017	5-15 ans	4 pools	Sérum			0,09	0,24 (MA)	0,60
Corée (Sud) [43]	2012	5-13 ans	120	Sérum	90 (LOD)	0,063		0,60	ND
PFUnA									
France - Esteban	2014-2016	6 -17 ans	249	Sérum	95,6 (LOQ)	0,02	0,05	0,12	0,29
Italie (Sicile) [44]	2016	6-11 ans	61	Sérum	30,3 (LOQ)	0,087	0,1	< LOQ	0,25 (P75)
Canada ECMS (Cycle 2) [40]	2009-2011	12-19 ans	506	Plasma	41,70 (LOD)	0,09	ND	NC	0,30
Etats-Unis, Nhanes [42]	2015-2016	12-19 ans	353	Sérum	ND	0,10	ND	NC	0,20
Corée (Sud) [43]	2012	5-13 ans	120	Sérum	100 (LOD)	0,068		0,75	ND

PFHxS										
France - Esteban	2014-2016	18 -74 ans	744	Sérum	99,6 (LOQ)	0,05	0,19	0,79	2,26	
Italie (Sicile) [44]	2016	6-11 ans	61	Sérum	99,6 (LOQ)	0,167	0,1	0,42 (Med)	0,58 (P75)	
Canada ECMS (Cycle 2) [40]	2009-2011	12-19 ans	506	Plasma	99,01 (LOD)	0,20	ND	1,90	11,00	
Etats-Unis, Nhanes [42]	2015-2016	12-19 ans	353	Sérum	ND	0,10	ND	0,90	3,10	
Australie ** [45]	2016-2017	5-15 ans	4 pools	Sérum			0,09	1,55 (MA)	4,20	
Corée (Sud) [43]	2012	5-13 ans	120	Sérum	100 (LOD)	0,066		1,13	ND	
PFOS										
France - Esteban	2014-2016	6 -17 ans	249	Sérum	100 (LOQ)	0,03	0,10	2,22	6,12	
Italie (Sicile) [44]	2016	6-11 ans	61	Sérum	100 (LOQ)	0,236	0,2	2,36 (Med)	2,97 (P75)	
Canada ECMS (Cycle 2) [40]	2009-2011	12-19 ans	507	Plasma	99,80 (LOD)	0,30	ND	4,60	11,00	
Etats-Unis, Nhanes † [42]	2015-2016	12-19 ans	353	Sérum	ND	ND	ND	2,94	6,60	
Australie ** [45]	2016-2017	5-15 ans	4 pools	Sérum			0,09	2,39 (MA)	5,70	
Corée (Sud) [43]	2012	5-13 ans	120	Sérum	100 (LOD)	0,076		6,58	ND	
n-MeFOSAA										
France - Esteban	2014-2016	6 -17 ans	249	Sérum	21,3 (LOQ)	0,02	0,05	NC	0,13	
Etats-Unis, Nhanes [42]	2015-2016	12-19 ans	353	Sérum	ND	0,10	ND	NC	0,60	

† PFOA et PFOS obtenus par la somme des isomères

NC : Non calculé en raison du taux de censure trop élevé

ND : Non disponible car non étudié ou non disponible dans l'étude citée

Med : Médiane

MA : Moyenne arithmétique

** pool de 100 sérums individuels chacun ; PFOS linéaire.

4. RÉSULTATS DES ANALYSES DESCRIPTIVES CHEZ LES ADULTES

4.1 Résultats des dosages

Niveaux des lipides sériques

La concentration moyenne de lipides totaux mesurée chez les 744 adultes, âgés de 18 à 74 ans de l'étude Esteban, ayant fait l'objet d'un dosage de PFC était égale à 6,27 g L⁻¹.

I TABLEAU 7 I

Valeurs moyennes, minimales et maximales des paramètres lipidiques chez les adultes

Paramètres	Effectif	Moyenne (g L ⁻¹)	Minimum (g L ⁻¹)	Maximum (g L ⁻¹)
Lipides totaux chez les adultes	744	6,27	2,72	11,01

Niveaux de dosages des composés perfluorés chez les adultes âgés de 18 à 74 ans

Les taux de quantification des PFC chez les adultes de l'étude Esteban étaient variables selon les composés (% > LOQ compris entre 0 % et 100 %). Les distributions en µg L⁻¹ et en µg/g de lipides des niveaux d'imprégnation des différents composés de perfluorés mesurés dans le sérum sont présentées dans les tableaux 8 et 9. Sept composés (PFOA, PFNA, PFDA, PFUnA, PFHxS, PFHpS et PFOS), sur les 17 dosés, avaient des taux de quantification supérieurs à 40 %. Les 10 autres composés perfluorés avaient des taux de quantification variant de 0 à 24,6 %.

La Commission allemande de biosurveillance humaine (HBM) a établi des valeurs seuils sanitaires en population générale, pour les 2 composés perfluorés les plus étudiés et les plus quantifiés : le PFOA et le PFOS. Plus de la moitié des adultes de l'étude Esteban (**55,8 %**) avaient des concentrations en PFOA \geq à **2 µg L⁻¹** (HBM-I value pour le PFOA) et **40,3 %** des adultes avaient des concentrations en PFOS \geq **5 µg L⁻¹** (HBM-I value pour le PFOS). Le seuil HBM-I correspond à la concentration en dessous de laquelle les données scientifiques du moment permettent d'estimer qu'il n'y a pas de risque d'impact sur la santé. Pour information, il n'existe pas de seuils HBM-II pour ces PFC.

La moyenne géométrique des concentrations sériques en PFOA observée chez les adultes était égale à 2,08 µg L⁻¹ soit 0,34 µg/g de lipides et celle en PFOS était égale à 4,03 µg L⁻¹ soit 0,66 µg/g de lipides. Le 95^e percentile était égal à 5,26 µg L⁻¹ soit 0,83 µg/g de lipides pour le PFOA et de 13,54 µg L⁻¹ soit 2,25 µg/g de lipides pour le PFOS.

Les distributions des différents composés perfluorés par classe d'âge et par sexe sont présentées en annexe 2.

I TABLEAU 8 I

Distributions des concentrations sériques en PFC ($\mu\text{g L}^{-1}$) des adultes âgés de 18 à 74 ans, France continentale (2014-2016)

Biomarqueur	n	%>LOQ	MG	IC 95 % MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC 95 % P95
Carboxylates d'alkyls perfluorés											
PFBA	744	1,08	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
PFPA	744	0,00	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
PFHxA	744	0,00	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
PFHpA	744	2,76	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
PFOA	744	100,00	2,08	[1,966 ; 2,199]	1,00	1,46	2,12	3,02	4,09	5,26	[4,819 ; 5,666]
PFNA	744	99,50	0,80	[0,749 ; 0,849]	0,42	0,57	0,80	1,10	1,54	1,91	[1,658 ; 2,069]
PFDA	744	89,20	0,34	[0,316 ; 0,356]	<LOQ	0,24	0,32	0,46	0,68	0,78	[0,738 ; 0,843]
PFUnA	744	99,50	0,17	[0,163 ; 0,186]	0,08	0,12	0,18	0,25	0,35	0,42	[0,389 ; 0,478]
PFDoA	744	22,31	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,07	0,08	[0,078 ; 0,097]
Sulfonates d'alkyls perfluorés											
PFBS	744	0,00	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
PFHxS	744	99,60	1,37	[1,272 ; 1,478]	0,57	0,90	1,48	2,11	2,82	3,42	[3,066 ; 3,893]
PFHpS	744	53,40	0,18	[0,163 ; 0,190]	<LOQ	<LOQ	0,19	0,28	0,39	0,48	[0,427 ; 0,543]
PFOS	744	100,00	4,03	[4,033 ; 4,666]	1,82	2,78	4,23	6,62	9,95	13,54	[11,330 ; 15,590]
PFDS	744	0,00	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sulfamides d'alkyls perfluorés											
n-EtFOSAA	744	2,15	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
n-MeFOSAA	744	24,60	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,09	0,13	[0,116 ; 0,180]
PFOSA	744	0,40	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC

* NC : moyenne géométrique non calculée en raison du taux de censure important (>40 %)

I TABLEAU 9 I

Distributions des concentrations sériques en PFC ajustés sur les lipides sériques ($\mu\text{g/g}$ de lipides) des adultes âgés de 18 à 74 ans, France continentale (2014-2016)

Biomarqueur	n	MG	IC 95 % MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC 95 % P95
PFBA	744	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
PFPA	744	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
PFHxA	744	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
PFHpA	744	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
PFOA	744	0,342	[0,323 ; 0,363]	0,169	0,239	0,353	0,485	0,684	0,833	[0,755 ; 0,979]
PFNA	744	0,131	[0,123 ; 0,14]	0,069	0,093	0,132	0,183	0,251	0,308	[0,281 ; 0,347]
PFDA	744	0,055	[0,052 ; 0,059]	0,030	0,039	0,053	0,076	0,107	0,131	[0,118 ; 0,154]
PFUnA	744	0,029	[0,027 ; 0,031]	0,013	0,020	0,030	0,042	0,057	0,067	[0,064 ; 0,07]
PFDoA	744	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,012	0,015	[0,013 ; 0,017]
PFBS	744	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
PFHxS	744	0,226	[0,209 ; 0,244]	0,095	0,151	0,229	0,356	0,472	0,589	[0,533 ; 0,629]
PFHpS	744	0,029	[0,027 ; 0,031]	0,012	0,019	0,029	0,047	0,065	0,079	[0,072 ; 0,091]
PFOS	744	0,664	[0,664 ; 0,766]	0,325	0,447	0,701	1,047	1,652	2,252	[1,823 ; 2,696]
PFDS	744	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
n-EtFOSAA	744	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
n-MeFOSAA	744	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,014	0,023	[0,020 ; 0,029]
PFOSA	744	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC

* NC : moyenne géométrique non calculée en raison du taux de censure important (>40 %)

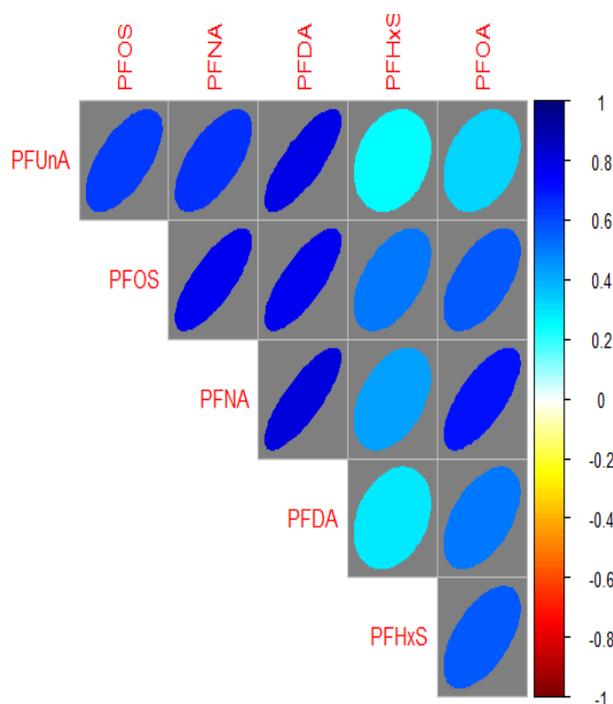
4.2 Corrélations entre les niveaux de concentration en PFC mesurés dans un échantillon d'adultes âgés de 18 à 74 ans

Le profil d'imprégnation des adultes ayant participé à l'étude Esteban pour le dosage des composés perfluorés a été étudié. Compte-tenu des taux de censure importants pour certains composés, seules les corrélations entre le PFOA, PFNA, PFDA, PFUnA, PFHxS et PFOS ont été étudiées. La figure 1 présente les coefficients de corrélation entre les concentrations sériques de ces 6 composés perfluorés mesurés chez un même sujet (corrélation de Spearman) ; la couleur représente l'intensité de la corrélation linéaire et la forme en ellipse est inversement proportionnelle à l'incertitude entourant cette corrélation. Ainsi l'interprétation des corrélations entre les composés se fait de la façon suivante : la corrélation entre le PFHxS et le PFUnA, située sur le graphique en 1^e ligne et 4^e colonne, est proche de 0 (couleur blanche) et l'incertitude autour de celle-ci est très élevée (large cercle). A contrario, la corrélation entre le PFDA et le PFUnA située sur le graphique en première ligne 3^e colonne, est positive et proche de 1 (couleur bleu foncé) et son incertitude est faible (ellipse très resserrée).

Généralement, les 6 PFC quantifiés étaient assez corrélés entre eux. De fortes corrélations étaient observées entre le PFOS et le PFNA ou le PFDA ; le PFNA était corrélé avec le PFDA ; le PFDA avec le PFUnA. Enfin il était observé une forte corrélation entre le PFOA et le PFNA. La plupart des corrélations a été observée entre les composés appartenant à la même catégorie de PFC, celle des carboxylates d'alkyls perfluorés à l'exception du PFOS qui appartient à la catégorie des sulfonates d'alkyles perfluorés. Malgré la diversité des sources d'exposition aux composés perfluorés utilisés dans de nombreux domaines, les PFOA et PFOS expliquent une bonne partie de l'imprégnation. Toutefois, la mesure d'un seul composé ne permettait pas d'estimer à elle seule l'imprégnation de la population aux composés perfluorés dans le cadre du programme national de biosurveillance. Contrairement au volet périnatal du programme national de biosurveillance, la présente étude Esteban présentait un nombre de corrélations plus important entre les composés perfluorés.

I FIGURE 1 I

Corrélation entre les niveaux de concentration de 6 PFC mesurés dans Esteban



4.3 Valeurs élevées chez les adultes

Parmi les 744 adultes pour lesquels des dosages de composés perfluorés ont été réalisés et sur les 6 PFC (PFOA, PFOS, PFDA, PFUnA, PFHxS, PFNA) pour lesquels des analyses des déterminants ont été effectuées, 46 adultes avaient des concentrations supérieures à la valeur du 99^e percentile (P99) pour au moins un des six composés perfluorés. Les adultes ayant des valeurs élevées en composés perfluorés étaient plus âgés (37 à 74 ans) avec un âge moyen de 54,7 ans, et le plus souvent il s'agissait d'hommes (19 femmes et 27 hommes). Parmi ces 46 adultes, 2 individus étaient exposés à 4 des 6 perfluorés les plus quantifiés, 1 à 3 d'entre eux et 13 à 2 d'entre eux. Ces adultes fortement imprégnés exerçaient une profession potentiellement exposante aux PFC. En effet, ces participants travaillaient dans la construction ou la réparation d'automobiles, dans le bâtiment, dans la mécanique générale, dans la maintenance industrielle, dans l'industrie chimique, dans la fabrication de chaussures et dans l'industrie du bois (ébéniste). Ces résultats en termes d'exposition professionnelle sont cohérents avec les données de la littérature et expliquent en partie ces niveaux d'imprégnation élevés retrouvés. Ce résultat est également corroboré par l'analyse des déterminants pour le PFUnA.

Le nombre d'adultes dont les concentrations en PFOS et PFOA étaient supérieures au 99^e percentile était plus faible quand bien même les concentrations sériques en PFOS et PFOA chez ces individus restaient plus élevées par rapport aux 4 autres composés. Ces résultats pourraient s'expliquer par la réglementation de diminution de l'utilisation du PFOA et du PFOS au profit des substituts.

4.4 Niveaux d'imprégnation par les PFC mesurés dans les études en France et à l'étranger chez les adultes

Niveaux mesurés en France

En France, en population générale, il n'existe pas d'étude antérieure permettant de faire une comparaison temporelle. Néanmoins, des études sur des populations particulières existent comme le volet périnatal du programme national de biosurveillance française (cohorte Elfe) [7]. Elle avait permis de mesurer auprès de 277 femmes enceintes âgées de 18 à 44 ans, en France en 2011, 17 composés perfluorés (identiques à ceux dosés dans l'étude Esteban) dans la matrice sérique recueillie en maternité au moment de l'accouchement des mères en 2011. La moyenne géométrique du niveau d'imprégnation (somme des PFC) était égale à $7,66 \mu\text{g L}^{-1}$, soit $0,78 \mu\text{g/g}$ de lipides comparativement à l'étude Esteban en population générale pour laquelle la moyenne géométrique était de $10,43 \mu\text{g L}^{-1}$, soit $1,71 \mu\text{g/g}$ de lipides. Le 95^e percentile était égal à $16,2 \mu\text{g L}^{-1}$, soit $1,6 \mu\text{g/g}$ de lipides (résultats non pondérés) dans l'étude Elfe contre $24,81 \mu\text{g L}^{-1}$, soit $4,13 \mu\text{g/g}$ de lipides dans Esteban. Dans l'étude Elfe, les PFOA et PFOS étaient les biomarqueurs les plus souvent quantifiés et ayant les concentrations les plus élevées, respectivement égales à $1,5 \mu\text{g L}^{-1}$ et $3,1 \mu\text{g L}^{-1}$. Les autres principaux contributeurs de l'imprégnation par les PFC étaient le PFHxS, le PFNA et le PFDA. Ces cinq biomarqueurs contribuaient à près de 80 % du profil d'exposition totale aux PFC des mères. Contrairement à Elfe, dans la présente étude Esteban, les PFUnA, et n-MeFOSAA étaient plus quantifiés (99 % et 24,6 % contre 30,3 % et 1,4 % dans l'étude Elfe). Les niveaux plus faibles observés dans Elfe s'expliquent par l'effet sexe observé en général dans les études d'imprégnations aux PFC.

D'une façon générale, les niveaux de concentration des composés perfluorés en population générale dans l'étude Esteban sont plus élevés que ceux observés dans l'étude Elfe chez les femmes enceintes avec des niveaux de quantification identiques ou plus élevés dans l'étude Esteban et des limites de quantification et de détection similaires pour l'ensemble des composés dans les deux études. Pour le PFOA par exemple, la moyenne géométrique (MG) dans l'étude Elfe était de $1,49 \mu\text{g L}^{-1}$ alors que dans l'étude Esteban, auprès des femmes en âge de procréer (18-49 ans), elle était de $1,50 \mu\text{g L}^{-1}$. Concernant le PFOS, la MG était de $3,07 \mu\text{g L}^{-1}$ dans Elfe et de $2,98 \mu\text{g L}^{-1}$ dans la présente étude Esteban. Pour le PFHxS, la MG dans Elfe était de $0,74 \mu\text{g L}^{-1}$ et dans Esteban de $0,89 \mu\text{g L}^{-1}$.

L'étude menée en 2009 par l'Anses auprès de 478 adultes âgés de 18 à 75 ans avait permis de connaître les niveaux d'imprégnation par les PFC de la population disposant d'un permis de pêche. Elle avait permis de mesurer 14 composés perfluorés dans le sérum [6, 46]. Un taux de détection de plus de 80 % avait été observé sur 6 des PFC étudiés : PFOS, PFOA, PFHxS, PFNA, PFHpS et PFDA. Les niveaux d'imprégnation de cette étude restaient très élevés par rapport à ceux observés dans la présente étude Esteban en population générale. Elle démontrait qu'auprès des pêcheurs, la consommation de poisson d'eau douce à une fréquence plus importante que le reste de la population restait une source d'exposition non négligeable. En effet, la moyenne géométrique dans cette population particulière était de $13,4 \mu\text{g L}^{-1}$ (P95 : $56,7 \mu\text{g L}^{-1}$) pour le PFOS, de $3,9 \mu\text{g L}^{-1}$ (P95 : $8,6 \mu\text{g L}^{-1}$) pour le PFOA alors qu'elle était de $4,03 \mu\text{g L}^{-1}$ (P95 : $13,54 \mu\text{g L}^{-1}$) pour le PFOS et de $2,08 \mu\text{g L}^{-1}$ (P95 : $5,26 \mu\text{g L}^{-1}$) pour le PFOA dans l'étude Esteban.

Niveaux mesurés dans les études étrangères

Plusieurs études conduites en Europe, au Canada, aux Etats Unis et dans bien d'autres pays étrangers ont permis de mesurer les niveaux d'imprégnation par les composés perfluorés auprès des adultes en population générale. Les mêmes composés perfluorés n'ont pas été

recherchés dans toutes ces études. Ainsi, pour la comparaison des résultats, 9 PFC ont été retenus : PFOA, PFNA, PFDA, PFUnA, PFDoA, PFHxS, PFHpS, PFOS et n-MeFOSAA. Ces 9 PFC sont les plus fréquemment étudiés et mesurés à des niveaux quantifiables. Les matrices biologiques les plus utilisées sont le sérum et le plasma.

Les études retenues pour la comparaison et leurs résultats sont synthétisés dans le tableau 10.

En Italie, une étude de biosurveillance conduite en 2011-2012 [47] auprès de femmes âgées de 20 à 40 ans, résidant dans 6 régions différentes avait permis de déterminer les niveaux de concentration en PFOA (n=470) et PFOS (n=479) avec des moyennes géométriques de 1,70 et 3,06 ng/g de lipides et des 95^e percentile de 3,46 et 6,68 ng/g de lipides respectivement. Dans Esteban, les moyennes géométriques des femmes en âge de procréer (18-49 ans) étaient respectivement pour le PFOA et le PFOS de 0,26 [0,24 ; 0,29] µg/g de lipides et 0,52 [0,46 ; 0,59] µg/g de lipides soient bien supérieures.

En Nouvelle Zélande, [48] sur les 16 composés perfluorés recherchés auprès de 734 adultes âgés de 19 à 64 ans en population générale, en 2011-2013, 12 de ces PFC avaient un taux de détection inférieur à 50 % (NEtFOSAA (0 %), NMeFOSAA (1,6 %), PFBS (0 %), PFDA (1,6 %), PFDoA (0 %), PFDS (0 %), PFHpA (0 %), PFHxA (0 %), PFOSA (0 %), PFTeDA (0 %), PFTrDA (0 %), and PFUnA (0 %)). Les 4 PFC pour lesquels le taux de détection était supérieur à 50 %, étaient le PFOS, PFOA, PFHxS, et PFNA ; les moyennes géométriques étaient, respectivement, de 3,4 ; 2,4 ; 1,0 ; et 0,66 µg L⁻¹ soient des niveaux similaires à ceux observés ici. Cependant contrairement à la nouvelle Zélande, le PFDoA, PFUnA, PFDA, n-MEFOSAA étaient très bien quantifiés en France avec ; respectivement, des taux de quantification de 22,3 % ; 99,5 % ; 89,2 et 24,6 %.

En Allemagne, [49] l'étude auprès des donneurs de sang de la population habitant dans le sud, a montré des niveaux d'imprégnation aux composés perfluorés très variables selon le lieu d'habitation : une zone rurale située à proximité d'une usine de production de polymères fluorés (site A) ou une ville moyenne proche du Danube (site B) ou encore la ville de Munich (site C). Ces résultats sont donc difficilement comparables avec les résultats d'Esteban. D'autres données de biosurveillance des composés perfluorés existent mais sont moins récentes [50].

Au Canada, [40, 41] 9 composés perfluorés ont été étudiés dans l'enquête ECMS dont le cycle 2 a été réalisé entre 2009 et 2011 auprès de 1524 personnes âgées de 12 à 79 ans. Il s'agissait des PFBA, PFHxA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFBS, PFHxS et PFOS. Pour 6 de ces PFC, le taux de quantification était compris entre 60 et 100 %. Les résultats mesurés dans ECMS montraient des niveaux d'imprégnation par les composés perfluorés similaires ou légèrement différents pour la plupart des composés sauf pour le PFOS à ceux observés ici. En effet, les niveaux de PFOS en France étaient plus faibles que ceux observés au Canada avec une moyenne géométrique de 4,03 µg L⁻¹ contre 6,5 µg L⁻¹ pour le Canada. Les données collectées au cours du cycle 5 en 2016-2017 permettront d'obtenir des niveaux d'imprégnation plus récents de la population canadienne.

Aux Etats Unis, [42] l'enquête Nhanes (National Health and Nutrition Examination Survey), réalisée en 2015-2016 a montré des niveaux d'imprégnation plus faible pour le PFOA (1,60 µg L⁻¹) et le PFDA (0,16 µg L⁻¹) alors que les niveaux d'imprégnation étaient similaires pour le PFNA et le PFHxS.

En Espagne, [51] l'étude de biosurveillance en population générale BioAmbian.Es, réalisée en 2009-2010 avait permis de mesurer 6 composés perfluorés dans le sérum. Les niveaux d'imprégnation observés en Espagne étaient relativement similaires à ceux obtenus en France même si l'étude Esteban est plus récente sauf pour le PFOS pour lequel les concentrations

étaient plus élevées en Espagne qu'en France. La moyenne géométrique des niveaux d'imprégnation en Espagne était de $7,67 \mu\text{g L}^{-1}$ (P95 à $19,33 \mu\text{g L}^{-1}$) alors qu'en France ces niveaux étaient de $4,03 \mu\text{g L}^{-1}$ (P95 à $13,54 \mu\text{g L}^{-1}$).

Concernant le niveau d'imprégnation par le PFOS, dans la présente étude Esteban, il était bien inférieur à celui observé aux Etats-Unis (Nhanes), au Canada (ECMS) et en Espagne (BioAmbient.ES).

Certaines tendances contrastées observées dans les études internationales pourraient s'expliquer par l'existence de formes à la fois linéaires et ramifiées de certains PFC dont le PFOS [52].

I TABLEAU 10 I

Comparaison des concentrations sériques moyennes en composés perfluorés (en µg L⁻¹) observées chez les adultes en France et à l'étranger

Pays/ étude	Année	Population	N	Matrice	%>LOQ ou %>LOD	LOD (µg L ⁻¹)	LOQ (µg L ⁻¹)	MG (µg L ⁻¹)	P95 (µg L ⁻¹)
PFOA									
France - Esteban	2014-2016	18 -74 ans	744	Sérum	100 (LOQ)	0,02	0,05	2,08	5,26
France -Volet périnatal Elfe* [7]	2011	18-44 ans	277	Sérum	100 (LOQ)	0,05	0,15	1,49	3,70
France PCB-ICAR [6]	2009	18-75 ans	478	Sérum			0,01-0,7	3,9	8,6
Espagne - BioAmbient.Es [51]	2009-2010	18-65 ans	755	Sérum	100 (LOQ)	ND	0,16-0,34	1,99	5,48
Allemagne Site A [49]	2015	18-67 ans	26	Plasma	100 (LOQ)	ND	0,40	26,90	85,80
Allemagne Site B [49]	2015	18-67 ans	50	Plasma	100 (LOQ)	ND	0,40	2,80	8,50
Allemagne Site C [49]	2016	18-67 ans	158	Plasma	100 (LOQ)	ND	0,40	1,20	2,40
République Tchèque [53]	2015	18-65 ans	300	Sérum	100 (LOD)	ND	0,013	0,72	ND
Canada ECMS (cycle 2) [40]	2009-2011	12-79 ans	1524	Plasma	100 (LOD)	0,10	ND	2,30	5,30
Etats-Unis, Nhanes ‡ [42]	2015-2016	≥20 ans	1940	Sérum	ND	ND	ND	1,60	4,27
Chine, Henan [54]	2011	0-88 ans	133	Sérum	100 (LOD)	0,02	ND	1,43 (Med)	
Australie ** [45]	2016-2017	46-60 ans	4 pools	Sérum			0,05-0,56	1,84 (MA)	3,90
Nouvelle Zélande [48]	2011-2013	19-64 ans	734 (63 pools)	Sérum	100 (LOD)			2,40	
Corée du Sud [55]	2009-2010	18-69 ans	1874	Sérum	96,4 (LOD)	0,15	ND	2,85	8,82
PFNA									
France - Esteban	2014-2016	18-74 ans	744	Sérum	99,5 (LOQ)	0,05	0,20	0,80	1,91
France -Volet périnatal Elfe* [7]	2011	18-44 ans	277	Sérum	100 (LOQ)	0,05	0,15	0,52	1,34
France PCB-ICAR [6]	2009	18-75 ans	478	Sérum			0,01-0,7	1,4	3,5
Espagne - BioAmbient.Es [51]	2009-2010	18-65 ans	755	Sérum	99,9 (LOQ)	ND	0,16-0,34	0,96	2,44
Allemagne Site A [49]	2015	18-67 ans	26	Plasma	61,5 (LOQ)	ND	0,40	0,70	3,00
Allemagne Site B [49]	2015	18-67 ans	50	Plasma	60,0 (LOQ)	ND	0,40	0,50	0,90
Allemagne Site C [49]	2016	18-67 ans	158	Plasma	56,3 (LOQ)	ND	0,40	0,40	0,80
République Tchèque [53]	2015	18-65 ans	300	Sérum	99,7 (LOD)	ND	0,013	0,30	ND

Canada ECMS (Cycle 2) [40]	2009-2011	12-79 ans	1524	Plasma	98,95 (LOD)	0,20	ND	0,82	1,90
Etats-Unis, Nhanes [42]	2015-2016	≥20 ans	1640	Sérum	ND	0,10	ND	0,59	1,90
Chine, Henan [54]	2011	0-88 ans	133	Sérum	95,7 (LOD)	0,04	ND	0,37 (Med)	
Australie [45]	2016-2017	46-60 ans	4 pools	Sérum				0,47 (MA)	1,1
Nouvelle Zélande [48]	2011-2013	19-64 ans	734 (63 pools)	Sérum	87 (LOD)			0,66	
Corée du Sud [55]	2009-2010	18-69 ans	1874	Sérum	83,1 (LOD)	0,08	ND	0,97	4,88

PFDA

France - Esteban	2014-2016	18 -74 ans	744	Sérum	89,20 (LOQ)	0,05	0,20	0,34	0,78
France -Volet périnatal Elfe*[7]	2011	18-44 ans	277	Sérum	67,9 (LOQ)	0,07	0,21	0,26	0,76
France PCB-ICAR [6]	2009	18-75 ans	478	Sérum			0,01-0,7	0,6	1,8
Espagne - BioAmbient.Es [51]	2009-2010	18-65 ans	755	Sérum	86,4 (LOQ)	ND	0,16-0,34	0,42	0,99
Allemagne Site A [49]	2015	18-67 ans	26	Plasma	30,8 (LOQ)	ND	0,40	<0,4 (Med)	3,10
Allemagne Site B [49]	2015	18-67 ans	50	Plasma	14,0 (LOQ)	ND	0,40	0,30	1,50
Allemagne Site C [49]	2016	18-67 ans	158	Plasma	1,9 (LOQ)	ND	0,40	NC	NC
République Tchèque [53]	2015	18-65 ans	300	Sérum	100 (LOD)	ND	0,013	0,41	ND
Canada ECMS (Cycle 2) [40]	2009-2011	12-79 ans	1524	Plasma	78,41 (LOD)	0,10	ND	0,20	0,66
Etats-Unis, Nhanes [42]	2015-2016	≥20 ans	1640	Sérum	ND	0,10	ND	0,16	0,70
Chine, Henan [54]	2011	0-88 ans	133	Sérum	82,7 (LOD)	0,04	ND	0,19 (Med)	
Australie ** [45]	2016-2017	46-60 ans	4 pools	Sérum				0,27 (MA)	0,70
Corée du Sud [55]	2009-2010	18-69 ans	1874	Sérum	98,0 (LOD)	0,14	ND	2,17	4,43

PFUnA

France - Esteban	2014-2016	18 -74 ans	744	Sérum	99,5 (LOQ)	0,02	0,05	0,17	0,42
France -Volet périnatal Elfe* [7]	2011	18-44 ans	277	Sérum	30,3 (LOQ)	0,06	0,18	NC	0,36
République Tchèque [53]	2015	18-65 ans	300	Sérum	96,0 (LOD)	ND	0,013	0,055	ND
Canada ECMS (Cycle 2) [40]	2009-2011	12-79 ans	1522	Plasma	60,71 (LOD)	0,09	ND	0,12	0,56
Etats-Unis, Nhanes [42]	2015-2016	≥20 ans	1640	Sérum	ND	0,10	ND	NC	0,40

PFDaA

France - Esteban	2014-2016	18 -74 ans	744	Sérum	22,31 (LOQ)	0,02	0,05	NC	0,08
France -Volet périnatal Elfe* [7]	2011	18-44 ans	277	Sérum	0,4 (LOQ)	0,10	0,30	<LOD	<LOD
Allemagne Site A [49]	2015	18-67 ans	26	Plasma	7,7 (LOQ)	ND	0,40	<LOQ	<0,4
Allemagne Site B [49]	2015	18-67 ans	50	Plasma	0,0 (LOQ)	ND	0,40	<LOQ	<LOQ
Allemagne Site C [49]	2016	18-67 ans	158	Plasma	0,0 (LOQ)	ND	0,40	<LOQ	<LOQ

République Tchèque [53]	2015	18-65 ans	300	Sérum	47,3 (LOD)	ND	0,013	NC	NC
Etats-Unis, Nhanes [42]	2015-2016	≥20 ans	1640	Sérum	ND	0,10	ND	NC	< LOD
Chine, Henan [54]	2011	0-88 ans	133	Sérum	34,6 (LOD)	0,05	ND	0,03 (Med)	

PFHxS

France - Esteban	2014-2016	18 -74 ans	744	Sérum	99,6 (LOQ)	0,05	0,19	1,37	3,42
France -Volet périnatal Elfe*[7]	2011	18-44 ans	277	Sérum	99,6 (LOQ)	0,05	0,15	0,74	2,10
France PCB-ICAR [6]	2009	18-75 ans	478	Sérum			0,01-0,7	2,3	7,0
Espagne - BioAmbient.Es [51]	2009-2010	18-65 ans	755	Sérum	84,8 (LOQ)	ND	0,16-0,34	0,91	2,84
Allemagne Site A [49]	2015	18-67 ans	26	Plasma	76,9 (LOQ)	ND	0,20	0,40	0,90
Allemagne Site B [49]	2015	18-67 ans	50	Plasma	88,0 (LOQ)	ND	0,20	0,40	0,80
Allemagne Site C [49]	2016	18-67 ans	158	Plasma	98,1 (LOQ)	ND	0,20	0,70	1,50
République Tchèque [53]	2015	18-65 ans	300	Sérum	100 (LOD)	ND	0,006	0,17	ND
Canada ECMS (Cycle 2) [40]	2009-2011	12-79 ans	1015	Plasma	98,75 (LOD)	0,20	ND	1,80	8,90
Etats-Unis, Nhanes [42]	2015-2016	≥20 ans	1640	Sérum	ND	0,10	ND	1,22	5,00
Chine, Henan [54]	2011	0-88 ans	133	Sérum	26,3 (LOD)	0,10	ND	0,05 (Med)	
Australie ** [45]	2016-2017	46-60 ans	4 pools	Sérum				2,11 (MA)	5,70
Nouvelle Zélande [48]	2011-2013	19-64 ans	734 (63 pools)	Sérum	84 (LOD)			1,00	
Corée du Sud [55]	2009-2010	18-69 ans	1874	Sérum	69,3 (LOD)	0,05	ND	0,49	4,87

PFHpS

France - Esteban	2014-2016	18 -74 ans	744	Sérum	53,4 (LOQ)	0,05	0,19	0,18	0,48
France -Volet périnatal Elfe* [7]	2011	18-44 ans	277	Sérum	7,2 (LOQ)	0,07	0,21	NC	0,24
France PCB-ICAR [6]	2009	18-75 ans	478	Sérum			0,01-0,7	0,6	2,2
Corée du Sud [55]	2009-2010	18-69 ans	1874	Sérum	19,3 (LOD)	0,05	ND	0,05	1,26

PFOS

France - Esteban	2014-2016	18 -74 ans	744	Sérum	100 (LOQ)	0,03	0,10	4,03	13,54
France -Volet périnatal Elfe* [7]	2011	18-44 ans	277	Sérum	100 (LOQ)	0,05	0,15	3,07	7,85
France PCB-ICAR [6]	2009	18-75 ans	478	Sérum			0,01-0,7	13,4	56,7
Espagne - BioAmbient.Es [51]	2009-2010	18-65 ans	755	Sérum	99,7 (LOQ)	ND	0,16-0,34	7,67	19,33
Allemagne Site A [49]	2015	18-67 ans	26	Plasma	100 (LOQ)	ND	0,10	3,30	13,50
Allemagne Site B [49]	2015	18-67 ans	50	Plasma	100 (LOQ)	ND	0,10	2,70	8,90
Allemagne Site C [49]	2016	18-67 ans	158	Plasma	100 (LOQ)	ND	0,10	2,60	6,40
République Tchèque [53]	2015	18-65 ans	300	Sérum	100 (LOD)	ND	0,004	2,29	ND

Canada ECMS (Cycle 2) [40]	2009-2011	12-79 ans	1524	Plasma	99,67 (LOD)	0,30	ND	6,50	19,00
Etats-Unis, Nhanes ‡ [42]	2015-2016	≥20 ans	1640	Sérum	ND	ND	ND	5,02	19,10
Chine, Henan [54]	2011	0-88 ans	133	Sérum	100 (LOD)	0,05	ND	1,47 (Med)	
Australie ** [45]	2016-2017	46-60 ans	4 pools	Sérum				4,45 (MA)	10,70
Nouvelle Zélande [48]	2011-2013	19-64 ans	734 (63 pools)	Sérum	100 (LOD)			3,40	
Corée du Sud [55]	2009-2010	18-69 ans	1874	Sérum	99,9 (LOD)	0,18	ND	10,23	23,39

n-MeFOSAA

France - Esteban	2014-2016	18 -74 ans	744	Sérum	24,60 (LOQ)	0,02	0,05	NC	0,13
France -Volet périnatal Elfe* [7]	2011	18-44 ans	277	Sérum	1,4 (LOQ)	0,10	0,30	NC	<LOD
Espagne - BioAmbient.Es [51]	2009-2010	18-65 ans	755	Sérum	3,3 (LOQ)	ND	0,16-0,34	<LOQ	<LOQ
République Tchèque [53]	2015	18-65 ans	300	Sérum	ND ⁽¹⁾	ND	-	-	-
Etats-Unis, Nhanes [42]	2015-2016	≥20 ans	1640	Sérum	ND	0,10	ND	NC	0,60

Elfe : Femmes enceintes*

‡ PFOA et PFOS obtenus par la somme des isomères

NC Non calculé en raison du taux de censure trop élevé

ND Non disponible car non étudié ou non disponible dans l'étude citée

ND ⁽¹⁾ Non détecté

Med Médiane

MA Moyenne arithmétique

*** pool de 100 sérums individuels chacun ; PFOS linéaire.*

5. DÉTERMINANTS DE L'IMPRÉGNATION PAR LES COMPOSÉS PERFLUORÉS CHEZ LES ADULTES

Les résultats de l'analyse des déterminants de l'exposition aux PFC chez les adultes de l'étude Esteban sont détaillés dans les tableaux 11 et 12. Pour l'analyse des déterminants, un modèle a été construit pour chaque composé perfluoré quantifié à plus de 60 % soit 6 modèles.

Une association chez les adultes a été observée entre les concentrations sériques du PFOA, du PFHxS et du PFOS et **le sexe** : l'imprégnation était augmentée chez les hommes de 25,3 % [12,4 ; 39,7] pour le **PFOA**, de 53,8 % [38,6 ; 70,7] pour le **PFHxS** et de 20,9 % [6,8 ; 36,8] pour le **PFOS**.

Une augmentation des niveaux d'imprégnation était observée avec **l'âge**. Les plus fortes augmentations étaient observées pour le **PFOA** : **27,0 % [3,5 ; 55,9]** et le **PFHxS** : **27,8 % [14,6 ; 42,6]** entre le 25^e et le 75^e percentile (35 ans - 59 ans). L'âge médian de la population adulte dans la présente étude Esteban était de 47 ans.

Une association a été observée entre les concentrations sériques de certains PFC et la **fréquence d'aération du logement au printemps et en été**. Les niveaux d'imprégnation des personnes qui aèrent leur logement tous les jours 1 à 2 fois par rapport à ceux qui aèrent tous les jours plus de 2 fois, sont augmentés. Cette augmentation est de **18,0 % [1,4 ; 37,2]** pour le **PFNA** et de **29,9 % [1,1 ; 66,8]** pour le **PFOS**.

Une association a également été observée entre les niveaux d'imprégnation de certains PFC et **l'autoconsommation d'œufs et éventuellement de lait** sans que l'on soit en mesure de confirmer si cette augmentation observée était liée à l'autoproduction et l'autoconsommation de ces aliments ou bien si cette augmentation était liée directement aux types d'aliments. L'autoconsommation exclusive de lait restait néanmoins négligeable, la catégorie étudiée était donc essentiellement composée d'auto-consommateurs d'œufs ou d'œufs et de lait. L'augmentation observée était de **23,4 % [9,0 ; 39,6]** pour le **PFNA** et de **42,9 % [22,9 ; 66,2]** pour le **PFOS**.

Une association a été observée entre les niveaux d'imprégnation du PFNA et la **fréquence d'utilisation des produits / matériaux exposants aux PFC lors du bricolage ou travaux**. L'augmentation des niveaux d'imprégnation de **PFNA** était de **19,1 % [2,5 ; 40,0]** entre ceux qui déclaraient ne jamais utiliser de produits ou matériaux les exposant aux PFC et ceux qui déclaraient y être exposés une fois par mois. L'augmentation de 12,4 % entre ceux qui n'étaient jamais exposés et ceux qui déclaraient y être exposés une fois par mois ou plus n'était pas significative, probablement du fait d'un problème de puissance statistique.

Une tendance à l'augmentation des niveaux d'imprégnation était également observée en lien **avec l'activité professionnelle actuelle ou passée** pour le **PFUnA** : **25 % [-2,1 ; 59,7]**. Le manque de significativité observé dans cette association peut être lié en partie à un problème de puissance statistique.

Une diminution des niveaux d'imprégnation a été observée avec **l'IMC** (indice de masse corporelle). Les plus fortes diminutions concernaient le PFUnA, le PFDA et le PFOS. La relation entre l'IMC et les concentrations en PFC est difficile à interpréter en raison du caractère amphiphile de ces molécules.

Enfin, une augmentation avec la **consommation de poissons et des fruits de mer**, ainsi que la **consommation de légumes était observée pour la plupart des PFC analysés**. Les plus fortes augmentations concernaient le **PFDA** et le **PFUnA**.

I TABLEAU 11 I

Déterminants associés aux concentrations sériques en PFC ajustés sur la concentration en lipides (variables qualitatives)

Variable qualitative	n (%) †	% Augmentation [IC95%]					
		PFOA	PFNA	PFDA	PFUnA	PFHxS	PFOS
Sexe*							
Femme	428 (51,0)	Référence	Référence	Référence	Référence	Référence	Référence
Homme	316 (49,0)	25,3 [12,4 ; 39,7]	5,9 [-4,5 ; 17,3]	1,35 [-10,1 ; 14,3]	-9,8 [-19,3 ; 0,8]	53,8 [38,6 ; 70,7]	20,9 [6,8 ; 36,8]
Présence d'enfant dans le foyer*							
Pas d'enfant de moins de 18 ans	486 (64,5)	Référence	Référence	Référence	Référence	Référence	Référence
Au moins un enfant de moins de 18 ans	258 (35,5)	-6,4 [-17,2 ; -5,8]	-10,5 [-21,4 ; 1,9]	-16,8 [-26,6 ; -5,6]	-10,8 [-22,8 ; 3,1]	-13,7 [-23,1 ; -3,2]	-10,5 [-23,8 ; 5,1]
Diplôme*							
Aucun diplôme, CEP, BEP, BEPC, CAP, Brevet élémentaire, brevet de compagnon	217 (49,0)	Référence	Référence	Référence	Référence	Référence	Référence
BAC Techno, général	148 (19,5)	1,8 [-12,2 ; 17,9]	-2,4 [-15,7 ; 13,0]	-6,6 [-19,0 ; 7,7]	1,5 [-13,8 ; 19,5]	-5,5 [-18,2 ; 9,1]	-2,8 [-18,5 ; 16,0]
1 ^{er} cycle	183 (15,0)	0,5 [-16,5 ; 20,8]	9,4 [-5,5 ; 26,6]	3,8 [-9,6 ; 19,3]	13,3 [-1,7 ; 30,6]	6,7 [-11,9 ; 29,1]	6,2 [-11,8 ; 27,9]
2 ^{ème} cycle	196 (16,5)	10,5 [-5,9 ; 29,7]	10,1 [-5,4 ; 28,3]	1,4 [-11,0 ; 15,7]	22,4 [6,7 ; 140,3]	23,2 [5,0 ; 44,5]	6,1 [-12,6 ; 28,8]
Fréquence d'aération du logement au printemps et en été							
Tous les jours + de 2 fois	603 (82,4)	Référence	Référence	Référence	Référence	-	Référence
Tous les jours 1 à 2 fois	102 (13,6)	16,1 [-2,9 ; 38,7]	18,0 [1,4 ; 37,2]	18,0 [1,6 ; 37,1]	17,6 [-0,1 ; 38,6]	-	29,9 [1,1 ; 66,8]
Plusieurs fois / semaine à moins d'1 fois / semaine	37 (4,0)	19,9 [-7,9 ; 56,2]	5,9 [-12,8 ; 28,7]	8,9 [-10,4 ; 32,6]	5,8 [-11,9 ; 27,1]	-	24,2 [-4,2 ; 60,9]
Auto-consommation de lait et des œufs							
Non	513 (70,9)	Référence	Référence	Référence	Référence	-	Référence
Oui	137 (29,1)	5,7 [-8,1 ; 21,6]	23,4 [9,0 ; 39,6]	36,3 [19,2 ; 55,8]	23,2 [7,1 ; 41,7]	-	42,9 [22,9 ; 66,2]
Nombre d'heures passées dans la voiture par semaine							
Moins de 2H	176 (25,2)	-	-	-	Référence	-	-
2 à 4H	224 (30,3)	-	-	-	11,3 [-4,6 ; 29,7]	-	-
4 à 6H	138 (19,0)	-	-	-	15,5 [-1,6 ; 36,4]	-	-
>= 6H	179 (25,5)	-	-	-	8,8 [-7,1 ; -27,5]	-	-

Activités professionnelles actuelles ou passées exposantes							
Non	707 (91,8)	-	-	-	Référence	-	-
Oui	35 (8,2)	-	-	-	25,0 [-2,1 ; 59,7]	-	-
Fréquence d'utilisation de parfum, eau de Cologne, déodorants							
2 fois / jour	278 (36,5)	-	-	-	-	Référence	-
Moins de 2 fois / jour	262 (34,6)	-	-	-	-	13,8 [-1,5 ; 31,4]	-
Moins d'une fois / jour	101 (15,7)	-	-	-	-	-16,1 [-31,0 ; 2,0]	-
Moins d'une fois / semaine	103 (13,2)	-	-	-	-	-14,0 [-27,7 ; 2,4]	-
Fréquence d'utilisation des produits / matériaux exposants lors du bricolage ou travaux							
Jamais	562 (76,0)	-	Référence	-	-	-	-
Moins d'une fois / mois	104 (13,5)	-	19,1 [2,5 ; 40,0]	-	-	-	-
Une fois / mois ou plus	76 (10,5)	-	12,4 [-5,4 ; 33,5]	-	-	-	-
Fréquence d'utilisation de produits de soins pour le corps (crème, huile, lotion, lait...)							
Jamais	219 (34,4)	-	-	Référence	-	-	-
Moins d'une fois / mois	71 (8,4)	-	-	22,9 [0,5 ; 50,2]	-	-	-
une à 3 fois / mois	65 (9,4)	-	-	12,8 [-7,1 ; 36,9]	-	-	-
Quelques fois / semaine	125 (19,1)	-	-	6,6 [-8,9 ; 24,6]	-	-	-
Chaque jour ou presque	234 (28,7)	-	-	9,5 [-5,7 ; 27,3]	-	-	-

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

I TABLEAU 12 I

Déterminants associés aux concentrations sériques en PFC ajustés sur la concentration en lipides (variables quantitatives)

Variable quantitative	P50 [P25 – P75]	Variation entre le P25 et le P75					
		% [IC95%]					
		PFOA	PFNA	PFDA	PFUnA	PFHxS	PFOS
Âge* (années)	47,0 [35,0 ; 59,0]	27,0 [3,5 ; 55,9]	15,9 [-1,5 ; 36,5]	11,4 [-5,6 ; 231,4]	3,6 [-13,1 ; 23,4]	27,8 [14,6 ; 42,6]	15,3 [-6,9 ; 42,6]
Indice de masse corporelle* (kg/m ²)	24,7 [22,2 ; 27,8]	-9,1 [-16,8 ; -0,6]	-6,9 [-14,7 ; 1,7]	-10,8 [-18,3 ; -2,7]	-12,9 [-20,4 ; -4,7]	-4,8 [-12,5 ; -3,6]	-10,3 [-18,7 ; -1,0]
Consommation de poissons et fruits de mer (g/jour)	26,0 [21,2 ; 35,0]	5,4 [-3,5 ; 15,1]	7,5 [-2,6 ; 18,6]	10,5 [0,8 ; 21,1]	31,6 [17,9 ; 46,8]	6,4 [-2,4 ; 16,0]	7,8 [-3,9 ; 21,0]
Consommation de légumes (g/jour)	182,7 [132,6 ; 236,8]	8,5 [-5,9 ; 25,1]	15,1 [5,7 ; 25,2]	13,8 [4,3 ; 24,1]	19,1 [7,5 ; 31,8]	-	18,6 [2,2 ; 37,6]

* variable d'ajustement

6. DISCUSSION

Esteban est la première étude française qui décrit les niveaux d'imprégnation par les composés perfluorés dans la population vivant en France continentale, âgée de 6 à 74 ans entre 2014 et 2016. Les taux de quantification des PFC mesurés dans la matrice sérique étaient variables d'un composé perfluoré à un autre. Sur les 17 composés perfluorés analysés, la majorité était peu ou pas quantifiée : 6 PFC chez les enfants (PFOA, PFNA, PFDA, PFUnA, PFHxS et PFOS) et 7 chez les adultes (PFOA, PFNA, PFDA, PFUnA, PFHxS, PFHpS et PFOS) étaient quantifiés à plus de 40 %. Ce sont les mêmes composés perfluorés qui sont les mieux quantifiés dans toutes les études de biosurveillance. Compte tenu des différences méthodologiques liées à la mesure quantitative des PFC, certaines comparaisons entre les études sont à considérer avec précaution.

Globalement, chez les adultes, dans la présente étude Esteban comme dans les études étrangères, les niveaux d'imprégnation par les composés perfluorés sont fortement influencés par l'âge et le sexe. Les femmes sont moins imprégnées et les personnes plus âgées sont plus imprégnées. La forte imprégnation liée à l'âge pourrait être expliquée par le caractère cumulatif de ces composés et leurs demi-vies longues de plusieurs années dans l'organisme ainsi que leur présence dans la chaîne alimentaire [48].

Les enfants d'Esteban étaient moins imprégnés que les adultes, ce qui était cohérent par rapport aux résultats observés dans d'autres pays. Certaines activités professionnelles ou de loisirs semblent exposer les personnes aux composés perfluorés.

La consommation de poissons et de produits de la mer ainsi que la consommation de légumes influençaient les niveaux d'imprégnation en perfluorés, ce qui a déjà été observé dans d'autres études. Dans la présente étude Esteban, nous n'avons pas observé d'association entre la consommation d'eau du robinet et les concentrations en composés perfluorés, contrairement à certaines études conduites à l'étranger [56].

Il sera nécessaire, pour les futures études de biosurveillance, de surveiller d'autres composés perfluorés d'utilisation plus récente, substitués du PFOA ou du PFOS comme par exemple, le 3H-perfluoro-3-[(3-méthoxy-propoxy) propanoic acid], appelé ADONA, un composé perfluoré de remplacement utilisé comme émulsifiants dans la production de polymères fluorés depuis 2008. Ces nouveaux composés étant à chaîne et demi-vie plus courtes [49], ils sont donc plus rapidement éliminés de l'organisme humain (16 à 36 jours).

Une diminution des niveaux d'imprégnation de la population générale par les composés perfluorés a été observée depuis 2002 dans certains pays comme l'Australie [57] ou les Etats Unis. En effet aux Etats Unis, de 2003 à 2014, après ajustement, une baisse de 17 % a été observée pour le PFOA, 33,5 % pour le PFOS, 11,5 % pour le PFDA, 6,3 % pour le PFDA et 7,6 % pour le PFNA [58]. Cependant, aux Etats Unis, une certaine disparité régionale était observée dans les niveaux d'imprégnation par les composés perfluorés de la population en 2013-2014 : les concentrations en PFC de la population de New Hampshire (adultes âgés de 20 ans et plus) étaient plus élevées que celles de Nhanes pour le PFOS (MG = 8,59 versus 4,99 µg/L) et le PFHxS (MG = 4,12 versus 1,35 µg/L) [59].

Toutefois en Australie de 2002 à 2013, des tendances temporelles contrastées ont été observées pour certains composés perfluorés. La présence de DiPAP et de FTSA dans le sérum fournissaient une preuve d'une exposition directe de la population australienne aux précurseurs des PFC [60].

En France, faute de données disponibles en population générale antérieures à l'étude Esteban, il n'est pas possible de confirmer cette baisse.

7. CONCLUSION

La mise en œuvre du programme national de biosurveillance à travers l'étude Esteban réalisée en 2014-2016 par Santé publique France a permis de mesurer les niveaux d'imprégnation par les composés perfluorés dans la population française continentale, âgée de 6 à 74 ans. Malgré les restrictions d'usage de certains perfluorés à chaîne et demi-vie plus longues donc plus toxiques au détriment de composés à chaîne et demi-vie plus courtes, les résultats montraient que la population était exposée à un ou plusieurs composés perfluorés.

Ces résultats démontrent également que les perfluorés continuent d'être présents dans l'environnement, l'alimentation et les produits de consommation courante. La poursuite de la surveillance de l'imprégnation de la population française aux PFC semble nécessaire afin de confirmer les diminutions mises en évidence à l'étranger depuis les années 2000. Elle permettrait aussi de continuer à surveiller la population française face aux nouveaux PFC mis sur le marché.

Bibliographie

- [1] US-EPA. Health Effects Support Document for Perfluorooctanoic Acid (PFOA) [En ligne]. Washington : US-EPA; 2016. 322 p. [consulté le 29/05/2019]. Disponible: https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-05/documents/pfoa_hesd_final_508.pdf
- [2] US-EPA. Drinking Water Health Advisory for Perfluorooctanoic Acid (PFOA) [En ligne]. Washington, : US-EPA; 2016. 103 p. [consulté le 29/05/2019]. Disponible: https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-05/documents/pfoa_health_advisory_final_508.pdf
- [3] Chang SC, Das K, Ehresman DJ, Ellefson ME, Gorman GS, Hart JA, et al. Comparative pharmacokinetics of perfluorobutyrates in rats, mice, monkeys, and humans and relevance to human exposure via drinking water. *Toxicol Sci.* 2008;104(1):40-53.
- [4] Newsted JL, Beach SA, Gallagher SP, Giesy JP. Acute and chronic effects of perfluorobutane sulfonate (PFBS) on the mallard and northern bobwhite quail. *Arch Environ Contam Toxicol.* 2008;54(3):535-45.
- [5] HBM4EU. WP 4 Prioritisation and input to the Annual Work Plan - Deliverable Report D 4.2 [En ligne]. HBM4EU; 2017. 143 p. [consulté le 03/06/2019]. Disponible: www.hbm4eu.eu/the-substances/
- [6] Denys S, Fraize-Frontier S, Moussa O, Le Bizec B, Veyrand B, Volatier JL. Is the fresh water fish consumption a significant determinant of the internal exposure to perfluoroalkylated substances (PFAS)? *Toxicol Lett.* 2014;231(2):233-8.
- [7] Dereumeaux C, Guldner L, Saoudi A, Pecheux M, Crouy-Chanel (de) P, Bérat B, et al. Imprégnation des femmes enceintes par les polluants de l'environnement en France en 2011. Volet périnatal du programme national de biosurveillance mis en oeuvre au sein de la cohorte Elfe. Tome 1 : polluants organiques. [En ligne]. Saint Maurice : Santé publique France; 2016. 230 p. [consulté le 20/05/2019]. Disponible: <http://invs.santepubliquefrance.fr>
- [8] Anses. Connaissances relatives aux données de contamination et aux expositions par des composés de la famille de Perfluorés (tome 2) [En ligne]. Maisons-Alfort : Anses; 2015. 150 p. [consulté le 13/05/2019]. Disponible: <https://www.anses.fr/fr/system/files/SUBCHIM2009sa0331Ra-102.pdf>
- [9] Ineris. Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : PFOA (acide perfluorooctanoïque et ses sels, et leurs précurseurs) DRC-15-136881-09932A, 2015. [En ligne]. Verneuil-en-Halatte : Ineris; 2015. 40 p. [consulté le 13/05/2019]. Disponible: https://rsde.ineris.fr/fiches_technico.php
- [10] Anses. Connaissances relatives à la réglementation, à l'identification, aux propriétés chimiques, à la production et aux usages des composés de la famille des Perfluorés (Tome 1) [En ligne]. Maisons-Alfort : Anses; 2015. 75 p. [consulté le 13/05/2019]. Disponible: <https://www.anses.fr/fr/system/files/SUBCHIM2009sa0331Ra-101.pdf>
- [11] Anses. Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à l'évaluation des risques sanitaires d'alkyls per- et polyfluorés dans les eaux destinées à la consommation humaine. [En ligne]. Maisons-Alfort : Anses; 2017. 55 p. [consulté le 14/05/2019]. Disponible: <https://www.anses.fr/fr/system/files/EAUX2015SA0105.pdf>
- [12] Lassen C, Kjølholt J, Hagen Mikkelsen S, Warming M, Astrup Jensen A, Bossi R, et al. Polyfluoroalkyl substances (PFASs) in textiles for children - Survey of chemical

substances in consumer products No. 136. Copenhagen, Denmark : Danish Environmental Protection Agency; 2015. 166 p.

[13] Pistocchi A, Loos R. A map of European emissions and concentrations of PFOS and PFOA. Environ Sci Technol. 2009;43(24):9237-44.

[14] Anses. Étude de l'alimentation totale française 2 (EAT 2) - Tome 1 Contaminants inorganiques, minéraux, polluants organiques persistants, mycotoxines, phyto-estrogènes. Avis de l'Anses - Rapport d'expertise [En ligne]. Maisons-Alfort : Anses; 2011. 305 p. Disponible: <https://www.anses.fr/fr/system/files/PASER2006sa0361Ra1.pdf>

[15] Fromme H, Tittlemier SA, Volkel W, Wilhelm M, Twardella D. Perfluorinated compounds--exposure assessment for the general population in Western countries. Int J Hyg Environ Health. 2009;212(3):239-70.

[16] Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm). Reproduction et environnement - Expertise collective. Chapitre VIII : les composés perfluorés PFC [En ligne]. Paris : Inserm; 2011. 535-97 p. Disponible: <http://hdl.handle.net/10608/222>

[17] Goosey E, Harrad S. Perfluoroalkyl compounds in dust from Asian, Australian, European, and North American homes and UK cars, classrooms, and offices. Environ Int. 2011;37(1):86-92.

[18] Knepper. TP, Frömel T, Gremme. C, Inge van Driezum. I, Weil. H. Understanding the exposure pathways of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) via use of PFASs-containing products – risk estimation for man and environment. [En ligne]. Dessau-Roßlau : Federal Environment Agency (Umweltbundesamt); 2014. 133 p. [consulté le 01/06/2019]. Disponible: <http://www.circs-ck.com/html/uploads/soft/140801/UBAstudyreport.pdf>

[19] Larsen P, Giovalle E. Perfluoroalkylated substances: PFOA, PFOS and PFOSA Evaluation of health hazards and proposal of a health based quality criterion for drinking water, soil and ground water Environmental project No. 1665. Copenhagen Denmark : The Danish Environmental Protection Agency; 2015. 90 p. [consulté le 01/06/2019]. Disponible: <https://www2.mst.dk/Udgiv/publications/2015/04/978-87-93283-01-5.pdf>

[20] Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological Profile for Perfluoroalkyls (Draft for Public Comment) [En ligne]. Atlanta, Georgia: U.S. Department of Health and Human Services - Public Health Service : ATSDR; 2018. 697 p. [consulté le 13/05/2019]. Disponible: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp200.pdf>

[21] EFSA. Perfluorooctane sulfonate (PFOS), perfluorooctanoic acid (PFOA) and their salts Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food chain EFSA-Q-2004-163) [En ligne]

Parma, Italy : European Food Safety Authority (ESFA); 2008. 131 p. Disponible: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2008.653>

[22] Anses. Connaissances relatives aux données de toxicité sur les composés de la famille des Perfluorés (Tome 3). [En ligne]. Maisons-Alfort : Anses; 2015. 101 p. Disponible: <https://www.anses.fr/fr/system/files/SUBCHIM2009sa0331Ra-103.pdf>

[23] Lee YJ, Kim MK, Bae J, Yang JH. Concentrations of perfluoroalkyl compounds in maternal and umbilical cord sera and birth outcomes in Korea. Chemosphere. 2013;90(5):1603-9.

[24] Ode A, Rylander L, Lindh CH, Kallen K, Jonsson BA, Gustafsson P, et al. Determinants of maternal and fetal exposure and temporal trends of perfluorinated compounds. Environ Sci Pollut Res Int. 2013;20(11):7970-8.

- [25] Jensen TK, Andersen LB, Kyhl HB, Nielsen F, Christesen HT, Grandjean P. Association between perfluorinated compound exposure and miscarriage in Danish pregnant women. *PLoS One*. 2015;10(4):e0123496.
- [26] Zhang T, Sun H, Qin X, Gan Z, Kannan K. PFOS and PFOA in paired urine and blood from general adults and pregnant women: assessment of urinary elimination. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2015;22(7):5572-9.
- [27] Glynn A, Berger U, Bignert A, Ullah S, Aune M, Lignell S, et al. Perfluorinated alkyl acids in blood serum from primiparous women in Sweden: serial sampling during pregnancy and nursing, and temporal trends 1996-2010. *Environ Sci Technol*. 2012;46(16):9071-9.
- [28] Kato K, Wong LY, Chen A, Dunbar C, Webster GM, Lanphear BP, et al. Changes in serum concentrations of maternal poly- and perfluoroalkyl substances over the course of pregnancy and predictors of exposure in a multiethnic cohort of Cincinnati, Ohio pregnant women during 2003-2006. *Environ Sci Technol*. 2014;48(16):9600-8.
- [29] HBM-C. (German Human Biomonitoring Commission). Position paper on the derivation of HBM values. Opinion of the German Human Biomonitoring Commission. *Bundesgesundheitsbl* 2014;57:138–47.
- [30] 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.
- [31] 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.
- [32] Balicco A, Oleko A, Szego E, Bosch 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.
- [33] Akins JR, Waldrep K, Bernert JT, Jr. The estimation of total serum lipids by a completely enzymatic 'summation' method. *Clin Chim Acta*. 1989;184(3):219-26.
- [34] Haziza. D, Beaumont. JF. On the Construction of Imputation Classes in Surveys. *International Statistical Review*. International Statistical Institute (ISI) 2007;75:25-43.
- [35] Royston P, White I. Multiple imputation by chained equations (MICE): Implementation in Stata. *Journal of Statistical Software*. 2011;45:1-20.
- [36] Hornung R, Reed L. Estimation of Average Concentration in the Presence of Nondetectable Values. *Applied Occupational and Environmental Hygiene* 1990;5(1):46-51.
- [37] Little RJA, Rubin DB. *Statistical analysis with missing data*. 2 éd. New York : Wiley Series in Probability and Statistics; 2002. 408 p.
- [38] StataCorp. *Stata Statistical Software : Release 14*. College Station, TX: StataCorp LP. . 2015.
- [39] R Core Team. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna Australia : 2017. Disponible: <https://www.R-project.org/>.
- [40] Santé Canada. *Rapport sur la biosurveillance humaine des substances chimiques de l'environnement au Canada. Résultats de l'Enquête canadienne sur les mesures de la santé Cycle 2 (2009 à 2011)*. [En ligne]. Santé Canada; 2013. 446 p. [consulté le 13/05/2019]. Disponible: <https://www.canada.ca/content/dam/hc->

[sc/migration/hc-sc/ewh-semt/alt_formats/pdf/pubs/contaminants/chms-ecms-cycle2/chms-ecms-cycle2-fra.pdf](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1631133516300000)

- [41] Haines DA, Saravanabhavan G, Werry K, Khoury C. An overview of human biomonitoring of environmental chemicals in the Canadian Health Measures Survey: 2007-2019. *Int J Hyg Environ Health*. 2017;220(2 Pt A):13-28.
- [42] CDC. Fourth National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals Updated Tables, January 2019, Volume One [En ligne]. Atlanta : U.S. Centers disease for control and prevention.; 2019. 866 p. [consulté le 13/05/2019]. Disponible: https://www.cdc.gov/exposurereport/pdf/FourthReport_UpdatedTables_Volume1_Jan_2019-508.pdf
- [43] Kim DH, Lee MY, Oh JE. Perfluorinated compounds in serum and urine samples from children aged 5-13 years in South Korea. *Environ Pollut*. 2014;192:171-8.
- [44] Ledda C, La Torre G, Cina D, Paravizzini G, Vitale E, Pavone P, et al. Serum concentrations of perfluorinated compounds among children living in Sicily (Italy). *Toxicol Lett*. 2018;298:186-93.
- [45] Toms LML, Braunig J, Vijayasathy S, Phillips S, Hobson P, Aylward LL, et al. Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in Australia: Current levels and estimated population reference values for selected compounds. *Int J Hyg Environ Health*. 2019;222(3):387-94.
- [46] Yamada A. Evaluation de l'exposition alimentaire aux composés perfluoroalkyles de populations spécifiques : cas des forts consommateurs de produits de la mer [En ligne] [Mémoire pour le diplôme d'ingénieur du génie sanitaire]. Anses, Maisons-Alfort: EHESP; 2012. 48 p. [consulté le 13/05/2019]. Disponible: <https://documentation.ehesp.fr/memoires/2012/igs/yamada.pdf>
- [47] De Felip E, Abballe A, Albano FL, Battista T, Carraro V, Conversano M, et al. Current exposure of Italian women of reproductive age to PFOS and PFOA: A human biomonitoring study. *Chemosphere*. 2015;137:1-8.
- [48] Coakley J, Bridgen P, Mueller J, Douwes J, t Mannetje A. Polybrominated diphenyl ethers and perfluorinated alkyl substances in blood serum of New Zealand adults, 2011-2013. *Chemosphere*. 2018;208:382-9.
- [49] Fromme H, Wockner M, Roscher E, Volkel W. ADONA and perfluoroalkylated substances in plasma samples of German blood donors living in South Germany. *Int J Hyg Environ Health*. 2017;220(2 Pt B):455-60.
- [50] Holzer J, Midasch O, Rauchfuss K, Kraft M, Reupert R, Angerer J, et al. Biomonitoring of perfluorinated compounds in children and adults exposed to perfluorooctanoate-contaminated drinking water. *Environ Health Perspect*. 2008;116(5):651-7.
- [51] Bartolome M, Gallego-Pico A, Cutanda F, Huetos O, Esteban M, Perez-Gomez B, et al. Perfluorinated alkyl substances in Spanish adults: Geographical distribution and determinants of exposure. *Sci Total Environ*. 2017;603-604:352-60.
- [52] Keller JM, Calafat AM, Kato K, Ellefson ME, Reagen WK, Strynar M, et al. Determination of perfluorinated alkyl acid concentrations in human serum and milk standard reference materials. *Anal Bioanal Chem*. 2010;397(2):439-51.
- [53] Sochorova L, Hanzlikova L, Cerna M, Drgacova A, Fialova A, Svarcova A, et al. Perfluorinated alkylated substances and brominated flame retardants in serum of the Czech adult population. *Int J Hyg Environ Health*. 2017;220(2 Pt A):235-43.
- [54] Fu Y, Wang T, Wang P, Fu Q, Lu Y. Effects of age, gender and region on serum concentrations of perfluorinated compounds in general population of Henan, China. *Chemosphere*. 2014;110:104-10.

- [55] Lee JH, Lee CK, Suh CH, Kang HS, Hong CP, Choi SN. Serum concentrations of per- and poly-fluoroalkyl substances and factors associated with exposure in the general adult population in South Korea. *Int J Hyg Environ Health*. 2017;220(6):1046-54.
- [56] Zhang S, Kang Q, Peng H, Ding M, Zhao F, Zhou Y, et al. Relationship between perfluorooctanoate and perfluorooctane sulfonate blood concentrations in the general population and routine drinking water exposure. *Environ Int*. 2019;126:54-60.
- [57] Toms LM, Thompson J, Rotander A, Hobson P, Calafat AM, Kato K, et al. Decline in perfluorooctane sulfonate and perfluorooctanoate serum concentrations in an Australian population from 2002 to 2011. *Environ Int*. 2014;71:74-80.
- [58] Jain RB. Time trends over 2003-2014 in the concentrations of selected perfluoroalkyl substances among US adults aged ≥ 20 years: Interpretational issues. *Sci Total Environ*. 2018;645:946-57.
- [59] Daly ER, Chan BP, Talbot EA, Nassif J, Bean C, Cavallo SJ, et al. Per- and polyfluoroalkyl substance (PFAS) exposure assessment in a community exposed to contaminated drinking water, New Hampshire, 2015. *Int J Hyg Environ Health*. 2018;221(3):569-77.
- [60] Eriksson U, Mueller JF, Toms LL, Hobson P, Karrman A. Temporal trends of PFASs, PFCAs and selected precursors in Australian serum from 2002 to 2013. *Environ Pollut*. 2017;220(Pt A):168-77.

Annexe 1 / Liste des variables testées chez les adultes

Variables
Facteurs d'ajustements
Indice de masse corporelle
Age
Sexe
Vie en couple du référent
Nombre d'enfants dans le foyer
Statut tabagique
Diplôme
Lipides totaux
Déterminants connus de l'exposition
Eau de robinet
Consommation de viandes et charcuteries
Consommation d'œufs
Consommation de poissons et produits de la mer
Consommation de légumes
Consommation de fruits
Consommation d'aliments pré-emballés
Consommation de plats préparés
Consommation de laits, yaourts (toutes formes), fromages et de crème fraîche
Consommation de produits issus de l'agriculture biologique (viande, volaille)
Autoconsommation de viandes et volailles
Autoconsommation de lait et d'œufs
Fréquences d'utilisations : de vernis à ongle, de produits pour cheveux (gel, mousses, laques, etc.), crèmes, huiles, lotions pour le corps, rouge à lèvres, crayon, fond de teint, etc.)
Fréquences d'utilisations : de parfum, eau de Cologne, déodorants
Revêtement du séjour et de la chambre
Habitudes de nettoyage des sols (humide ou sec)
Fréquence d'aération du logement au printemps-été
Présence d'une ventilation mécanique contrôlée (VMC)
Travaux de rénovation exposant aux PFC
Activités de loisirs/bricolage exposant aux PFC (réparation auto. colle, vernis, peinture, teintures, pigments, ...)
Fréquences d'utilisation de produits ménagers et d'entretiens (cire, vernis à bois, peinture, solvants, etc.)
Fréquences d'utilisation de produits ménagers et d'entretiens (assouplissant, liquide vaisselle, produits d'entretiens cuisine, salle de bain, sols fenêtre, vernis à bois, etc.)
Niveau de sédentarité
Temps passé en voiture
Résidence à côté d'une déchetterie ou d'un incinérateur
Domaines d'activités actuel ou passé exposants (coiffeur, fabrication semi-conducteurs ; fabrication ou utilisation de vernis, peinture, encre, colorants, enduits, fabrication de produits plastiques, production ou utilisation de fils, baguettes et électrodes de soudure, revêtements et traitement thermique des métaux, technicien de surface, tanneur de peau)

Annexe 2 / Distributions des concentrations sériques en PFC par classe d'âge et par sexe

I TABLEAU A1 I

Distribution des concentrations sériques en PFC ($\mu\text{g L}^{-1}$) des enfants âgés de 6 à 17 ans, par classe d'âge et par sexe, France continentale (2014-2016)

	n	MG	IC 95 % MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC 95 % P95
PFBA										
Total	249	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
6-10	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
11-14	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
15-17	53	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Garçon	118	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Fille	131	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
PFPA										
Total	249	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
6-10	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
11-14	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
15-17	53	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Garçon	118	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Fille	131	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
PFHxA										
Total	249	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
6-10	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
11-14	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
15-17	53	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Garçon	118	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Fille	131	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
PFHpA										
Total	249	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,169	[0,130 ; 0,240]
Age (ans)										
6-10	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,137	[0,130 ; 0,224]
11-14	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,130	[0,130 ; 0,219]
15-17	53	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,254	[0,130 ; 0,375]
Sexe										
Garçon	118	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,232	[0,130 ; 0,336]
Fille	131	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,130	[0,130 ; 0,211]
PFOA										
Total	249	1,565	[1,492 ; 1,641]	1,010	1,260	1,540	1,885	2,463	2,760	[2,520 ; 3,334]
Age (ans)										
6-10	98	1,675	[1,553 ; 1,806]	1,058	1,360	1,680	1,930	2,494	3,002	[2,441 ; 3,655]
11-14	98	1,500	[1,393 ; 1,616]	0,958	1,200	1,430	1,730	2,296	2,742	[2,263 ; 3,444]
15-17	53	1,492	[1,349 ; 1,649]	0,916	1,230	1,550	1,858	2,518	2,572	[2,123 ; 2,971]
Sexe										
Garçon	118	1,719	[1,608 ; 1,838]	1,168	1,385	1,620	2,110	2,566	3,036	[2,540 ; 3,449]
Fille	131	1,437	[1,349 ; 1,531]	0,951	1,115	1,410	1,760	2,139	2,448	[2,133 ; 3,044]

PFNA										
Total	249	0,607	[0,572 ; 0,645]	0,370	0,453	0,570	0,758	1,040	1,350	[1,098 ; 1,910]
Age (ans)										
6-10	98	0,672	[0,611 ; 0,738]	0,438	0,485	0,650	0,820	1,040	1,273	[0,998 ; 2,067]
11-14	98	0,578	[0,527 ; 0,634]	0,338	0,425	0,540	0,715	1,000	1,419	[0,923 ; 2,272]
15-17	53	0,553	[0,486 ; 0,631]	0,333	0,423	0,525	0,708	1,010	1,376	[0,777 ; 1,904]
Sexe										
Garçon	118	0,644	[0,588 ; 0,706]	0,390	0,465	0,610	0,775	1,060	1,437	[1,021 ; 2,260]
Fille	131	0,576	[0,533 ; 0,623]	0,331	0,438	0,550	0,740	1,008	1,237	[0,995 ; 1,911]
PFDA										
Total	249	0,243	[0,230 ; 0,257]	0,141	0,187	0,237	0,314	0,418	0,546	[0,448 ; 0,616]
Age (ans)										
6-10	98	0,271	[0,253 ; 0,291]	0,177	0,217	0,262	0,312	0,418	0,559	[0,398 ; 0,671]
11-14	98	0,231	[0,211 ; 0,252]	0,126	0,167	0,223	0,310	0,415	0,495	[0,402 ; 0,584]
15-17	53	0,219	[0,191 ; 0,251]	0,119	0,145	0,210	0,313	0,415	0,571	[0,340 ; 0,666]
Sexe										
Garçon	118	0,256	[0,236 ; 0,277]	0,154	0,194	0,252	0,325	0,457	0,606	[0,453 ; 0,631]
Fille	131	0,232	[0,216 ; 0,250]	0,129	0,178	0,227	0,290	0,394	0,498	[0,393 ; 0,588]
PfUnA										
Total	249	0,117	[0,110 ; 0,125]	0,060	0,080	0,120	0,160	0,230	0,290	[0,240 ; 0,323]
Age (ans)										
6-10	98	0,121	[0,110 ; 0,133]	0,060	0,080	0,120	0,170	0,240	0,281	[0,234 ; 0,327]
11-14	98	0,114	[0,104 ; 0,124]	0,060	0,080	0,110	0,150	0,219	0,295	[0,213 ; 0,346]
15-17	53	0,104	[0,090 ; 0,120]	0,040	0,070	0,095	0,148	0,224	0,257	[0,180 ; 0,296]
Sexe										
Garçon	118	0,132	[0,120 ; 0,145]	0,070	0,090	0,140	0,170	0,230	0,281	[0,220 ; 0,333]
Fille	131	0,111	[0,100 ; 0,123]	0,060	0,070	0,110	0,150	0,222	0,321	[0,203 ; 0,364]
PfDoA										
Total	249	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,060	[0,040 ; 0,070]
Age (ans)										
6-10	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,060	[0,040 ; 0,092]
11-14	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,051	[0,040 ; 0,079]
15-17	53	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,064	[0,040 ; 0,070]
Sexe										
Garçon	118	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,060	[0,040 ; 0,070]
Fille	131	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,065	[0,040 ; 0,081]
PFBS										
Total	249	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
6-10	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
11-14	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
15-17	53	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Garçon	118	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Fille	131	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
PFHxS										
Total	249	0,793	[0,739 ; 0,852]	0,429	0,570	0,725	1,048	1,531	2,256	[1,656 ; 3,467]
Age (ans)										
6-10	98	0,836	[0,766 ; 0,912]	0,528	0,620	0,760	1,085	1,532	1,908	[1,388 ; 2,648]
11-14	98	0,741	[0,657 ; 0,836]	0,360	0,525	0,670	1,040	1,348	2,144	[1,295 ; 3,970]
15-17	53	0,818	[0,680 ; 0,984]	0,390	0,530	0,690	0,965	2,027	2,865	[1,104 ; 9,877]
Sexe										
Garçon	118	0,875	[0,795 ; 0,963]	0,538	0,615	0,730	1,080	1,972	2,709	[1,922 ; 3,796]
Fille	131	0,727	[0,657 ; 0,804]	0,360	0,498	0,705	0,993	1,298	1,617	[1,285 ; 2,613]
PFHpS										
Total	249	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
6-10	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
11-14	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
15-17	53	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Garçon	118	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Fille	131	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC

PFOS										
Total	249	2,220	[2,058 ; 2,396]	1,120	1,550	2,000	2,948	4,922	6,124	[5,188 ; 8,260]
Age (ans)										
6-10	98	2,148	[1,945 ; 2,373]	1,130	1,605	1,990	2,750	4,050	5,279	[4,004 ; 9,989]
11-14	98	2,172	[1,918 ; 2,461]	1,080	1,520	2,000	2,820	4,890	6,314	[4,231 ; 6,751]
15-17	53	2,457	[2,015 ; 2,997]	1,166	1,485	2,040	3,538	5,285	7,049	[4,490 ; 39,382]
Sexe										
Garçon	118	2,433	[2,193 ; 2,700]	1,272	1,665	2,050	3,430	5,336	6,361	5,311 ; 10,065]
Fille	131	2,045	[1,836 ; 2,277]	1,042	1,450	1,910	2,465	3,754	5,090	[3,758 ; 7,520]
PFDS										
Total	249	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
6-10	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
11-14	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
15-17	53	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Garçon	118	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Fille	131	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
n-EtFOSAA										
Total	249	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
6-10	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
11-14	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
15-17	53	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Garçon	118	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Fille	131	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
n-MeFOSAA										
Total	249	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,091	0,130	[0,110 ; 0,187]
Age (ans)										
6-10	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,102	0,135	[0,060 ; 0,202]
11-14	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,069	0,120	[0,100 ; 0,384]
15-17	53	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ			[0,057 ; 0,292]
Sexe										
Garçon	118	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,070	0,101	
Fille	131	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,110	0,131	[0,094 ; 0,226]
				<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,108	0,161	[0,069 ; 0,209]
PFOSA										
Total	249	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
6-10	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
11-14	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
15-17	53	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Garçon	118	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Fille	131	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC

NC : moyenne géométrique non calculée en raison du taux de censure important (>40 %)

I TABLEAU A2 I

Distribution des concentrations sériques en PFC ajustés sur les lipides sériques ($\mu\text{g/g}$ de lipides) des enfants âgés de 6 à 17 ans, par classe d'âge et par sexe, France continentale (2014-2016)

	n	MG	IC 95 % MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC 95 % P95
Total	249	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
6-10	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
11-14	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
15-17	53	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Garçon	118	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Fille	131	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
PFPA										
Total	249	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
6-10	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
11-14	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
15-17	53	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Garçon	118	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Fille	131	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
PFHxA										
Total	249	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
6-10	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
11-14	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
15-17	53	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Garçon	118	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Fille	131	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
PFHpA										
Total	249	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,036	[0,030 ; 0,053]
Age (ans)										
6-10	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,032	[0,029 ; 0,045]
11-14	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,029	[0,027 ; 0,048]
15-17	53	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,060	[0,030 ; 0,097]
Sexe										
Garçon	118	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,055	[0,030 ; 0,068]
Fille	131	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,031	[0,029 ; 0,042]
PFOA										
Total	249	0,306	[0,291 ; 0,322]	0,188	0,229	0,296	0,390	0,502	0,570	[0,527 ; 0,639]
Age (ans)										
6-10	98	0,321	[0,296 ; 0,347]	0,195	0,245	0,327	0,389	0,469	0,532	[0,464 ; 0,647]
11-14	98	0,290	[0,268 ; 0,314]	0,180	0,222	0,270	0,368	0,444	0,537	[0,435 ; 0,693]
15-17	53	0,312	[0,276 ; 0,352]	0,165	0,230	0,303	0,411	0,571	0,626	[0,531 ; 0,703]
Sexe										
Garçon	118	0,339	[0,315 ; 0,364]	0,206	0,259	0,336	0,414	0,541	0,630	[0,537 ; 0,706]
Fille	131	0,280	[0,262 ; 0,299]	0,180	0,214	0,268	0,365	0,442	0,526	[0,440 ; 0,622]
PFNA										
Total	249	0,119	[0,112 ; 0,126]	0,069	0,086	0,115	0,153	0,207	0,303	[0,217 ; 0,408]
Age (ans)										
6-10	98	0,127	[0,116 ; 0,141]	0,074	0,094	0,128	0,159	0,212	0,246	[0,198 ; 0,414]
11-14	98	0,112	[0,101 ; 0,123]	0,064	0,081	0,105	0,138	0,194	0,291	[0,193 ; 0,476]
15-17	53	0,115	[0,099 ; 0,134]	0,067	0,079	0,106	0,151	0,235	0,331	[0,179 ; 0,438]
Sexe										
Garçon	118	0,127	[0,12 ; 0,14]	0,068	0,092	0,121	0,159	0,210	0,323	[0,203 ; 0,415]
Fille	131	0,112	[0,10 ; 0,12]	0,068	0,083	0,105	0,147	0,198	0,241	[0,195 ; 0,444]

PFDA										
Total	249	0,047	[0,045 ; 0,050]	0,027	0,036	0,046	0,062	0,083	0,109	[0,086 ; 0,125]
Age (ans)										
6-10	98	0,052	[0,048 ; 0,056]	0,033	0,040	0,049	0,064	0,082	0,103	[0,081 ; 0,136]
11-14	98	0,044	[0,040 ; 0,048]	0,025	0,032	0,043	0,060	0,083	0,094	[0,081 ; 0,118]
15-17	53	0,046	[0,039 ; 0,053]	0,021	0,030	0,046	0,060	0,090	0,123	[0,078 ; 0,154]
Sexe										
Garçon	118	0,050	[0,046 ; 0,054]	0,028	0,038	0,049	0,065	0,089	0,110	[0,087 ; 0,133]
Fille	131	0,045	[0,042 ; 0,049]	0,025	0,034	0,043	0,058	0,083	0,098	[0,082 ; 0,122]
PFAA										
Total	249	0,023	[0,021 ; 0,024]	0,012	0,015	0,023	0,030	0,047	0,057	[0,048 ; 0,065]
Age (ans)										
6-10	98	0,025	[0,023 ; 0,028]	0,013	0,018	0,025	0,034	0,044	0,054	[0,042 ; 0,059]
11-14	98	0,021	[0,019 ; 0,024]	0,012	0,015	0,020	0,029	0,042	0,059	[0,039 ; 0,075]
15-17	53	0,021	[0,018 ; 0,025]	0,008	0,014	0,021	0,030	0,051	0,057	[0,039 ; 0,065]
Sexe										
Garçon	118	0,024	[0,021 ; 0,026]	0,012	0,016	0,025	0,032	0,047	0,055	[0,047 ; 0,061]
Fille	131	0,022	[0,020 ; 0,024]	0,012	0,015	0,022	0,030	0,042	0,057	[0,042 ; 0,074]
PFDaA										
Total	249	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,011	[0,008 ; 0,014]
Age (ans)										
6-10	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,012	[0,008 ; 0,018]
11-14	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,009	[0,007 ; 0,017]
15-17	53	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,010	[0,007 ; 0,015]
Sexe										
Garçon	118	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,010	[0,008 ; 0,015]
Fille	131	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,012	[0,008 ; 0,017]
PFBFS										
Total	249	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
6-10	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
11-14	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
15-17	53	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Garçon	118	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Fille	131	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
PFHxS										
Total	249	0,155	[0,144 ; 0,167]	0,078	0,111	0,140	0,203	0,283	0,452	[0,356 ; 0,583]
Age (ans)										
6-10	98	0,160	[0,146 ; 0,175]	0,096	0,122	0,143	0,205	0,318	0,359	[0,299 ; 0,427]
11-14	98	0,143	[0,127 ; 0,162]	0,072	0,093	0,135	0,196	0,288	0,373	[0,254 ; 0,786]
15-17	53	0,171	[0,139 ; 0,208]	0,071	0,111	0,143	0,223	0,492	0,677	[0,296 ; 2,126]
Sexe										
Garçon	118	0,172	[0,155 ; 0,190]	0,096	0,123	0,147	0,208	0,387	0,540	[0,371 ; 0,799]
Fille	131	0,141	[0,127 ; 0,157]	0,070	0,093	0,134	0,199	0,273	0,356	[0,262 ; 0,462]
PFHpS										
Total	249	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
6-10	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
11-14	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
15-17	53	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Garçon	118	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Fille	131	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC

PFOS										
Total	249	0,434	[0,402 ; 0,470]	0,223	0,302	0,383	0,592	0,920	1,172	[1,016 ; 1,514]
Age (ans)										
6-10	98	0,411	[0,372 ; 0,455]	0,224	0,311	0,381	0,511	0,791	1,054	[0,718 ; 1,725]
11-14	98	0,420	[0,369 ; 0,478]	0,222	0,284	0,364	0,593	0,876	1,168	[0,811 ; 1,346]
15-17	53	0,513	[0,416 ; 0,633]	0,220	0,326	0,432	0,718	1,153	1,543	[0,958 ; 8,525]
Sexe										
Garçon	118	0,479	[0,429 ; 0,535]	0,239	0,327	0,421	0,698	1,094	1,237	[1,080 ; 1,857]
Fillle	131	0,398	[0,356 ; 0,445]	0,216	0,281	0,368	0,474	0,717	0,955	[0,708 ; 1,645]
PFDS										
Total	249	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
6-10	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
11-14	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
15-17	53	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Garçon	118	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Fillle	131	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
n-EtFOSAA										
Total	249	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
6-10	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
11-14	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
15-17	53	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Garçon	118	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Fillle	131	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
n-MeFOSAA										
Total	249	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,026	[0,020 ; 0,040]
Age (ans)										
6-10	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,022	[0,013 ; 0,033]
11-14	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,027	[0,019 ; 0,075]
15-17	53	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,030	[0,013 ; 0,073]
Sexe										
Garçon	118	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,029	[0,017 ; 0,045]
Fillle	131	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,024	[0,013 ; 0,040]
PFOSA										
Total	249	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
6-10	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
11-14	98	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
15-17	53	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Garçon	118	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Fillle	131	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC

NC : moyenne géométrique non calculée en raison du taux de censure important (>40 %)

I TABLEAU A3 I

Distribution des concentrations sériques en PFC ($\mu\text{g L}^{-1}$) des adultes âgés de 18 à 74 ans, par classe d'âge et par sexe, France continentale (2014-2016)

	n	MG	IC 95 % MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC 95 % P95
PFBA										
Total	744	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
18-29	45	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
30-44	188	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
45-59	283	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
60-74	228	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Homme	316	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Femme	428	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
PFPA										
Total	744	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
18-29	45	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
30-44	188	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
45-59	283	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
60-74	228	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Homme	316	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Femme	428	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
PFHxA										
Total	744	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
18-29	45	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
30-44	188	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
45-59	283	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
60-74	228	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Homme	316	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Femme	428	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
PFHpA										
Total	744	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
18-29	45	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
30-44	188	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
45-59	283	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
60-74	228	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Homme	316	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Femme	428	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
PFOA										
Total	744	2,081	[1,966 ; 2,200]	0,997	1,457	2,121	3,024	4,086	5,257	[4,819 ; 5,666]
Age (ans)										
18-29	45	1,576	[1,376 ; 1,792]	0,753	1,154	1,595	2,167	2,644	2,916	[2,405 ; 3,279]
30-44	188	1,813	[1,691 ; 1,961]	0,820	1,379	1,905	2,554	3,465	3,819	[3,496 ; 4,160]
45-59	283	2,138	[1,930 ; 2,372]	1,017	1,523	2,209	3,066	3,858	5,092	[4,323 ; 5,928]
60-74	228	2,907	[2,651 ; 3,170]	1,451	2,107	2,917	4,213	5,591	6,421	[5,574 ; 7,458]
Sexe										
Homme	316	2,325	[2,163 ; 2,514]	1,249	1,696	2,376	3,271	4,307	5,629	[4,914 ; 6,663]
Femme	428	1,872	[1,723 ; 2,020]	0,816	1,299	1,892	2,759	3,846	4,961	[4,393 ; 5,352]

PFNA										
Total	744	0,798	[0,749 ; 0,849]	0,421	0,570	0,802	1,100	1,544	1,910	[1,658 ; 2,069]
Age (ans)										
18-29	45	0,569	[0,493 ; 0,658]	0,294	0,429	0,593	0,748	0,933	1,034	[0,815 ; 1,144]
30-44	188	0,693	[0,633 ; 0,759]	0,373	0,523	0,707	0,949	1,250	1,467	[1,284 ; 1,619]
45-59	283	0,858	[0,780 ; 0,944]	0,447	0,597	0,862	1,169	1,636	2,018	[1,632 ; 2,314]
60-74	228	1,092	[1,014 ; 1,176]	0,619	0,821	1,043	1,494	1,943	2,197	[1,952 ; 2,464]
Sexe										
Homme	316	0,826	[0,767 ; 0,889]	0,438	0,600	0,830	1,095	1,511	1,869	[1,627 ; 2,191]
Femme	428	0,772	[0,701 ; 0,850]	0,398	0,544	0,776	1,104	1,561	1,911	[1,627 ; 2,139]
PFDA										
Total	744	0,335	[0,316 ; 0,356]	<LOQ	0,237	0,322	0,460	0,679	0,783	[0,738 ; 0,843]
Age (ans)										
18-29	45	0,253	[0,221 ; 0,289]	<LOQ	0,193	0,245	0,329	0,409	0,460	[0,380 ; 0,565]
30-44	188	0,291	[0,266 ; 0,318]	<LOQ	0,225	0,289	0,391	0,488	0,601	[0,513 ; 0,660]
45-59	283	0,359	[0,328 ; 0,394]	<LOQ	0,245	0,343	0,498	0,748	0,883	[0,772 ; 1,136]
60-74	228	0,444	[0,410 ; 0,482]	<LOQ	0,321	0,437	0,618	0,771	0,963	[0,760 ; 1,364]
Sexe										
Homme	316	0,329	[0,308 ; 0,352]	<LOQ	0,239	0,317	0,441	0,615	0,771	[0,649 ; 1,058]
Femme	428	0,341	[0,311 ; 0,374]	<LOQ	0,234	0,329	0,486	0,711	0,792	[0,741 ; 0,847]
PfUnA										
Total	744	0,174	[0,163 ; 0,186]	0,080	0,121	0,181	0,254	0,351	0,423	[0,389 ; 0,478]
Age (ans)										
18-29	45	0,137	[0,118 ; 0,159]	0,066	0,103	0,143	0,187	0,240	0,256	[0,233 ; 0,270]
30-44	188	0,148	[0,131 ; 0,168]	0,066	0,106	0,165	0,225	0,273	0,339	[0,285 ; 0,371]
45-59	283	0,183	[0,166 ; 0,203]	0,084	0,125	0,188	0,258	0,378	0,476	[0,398 ; 0,575]
60-74	228	0,235	[0,217 ; 0,255]	0,119	0,171	0,235	0,328	0,419	0,524	[0,453 ; 0,679]
Sexe										
Homme	316	0,169	[0,155 ; 0,185]	0,076	0,115	0,175	0,246	0,345	0,414	[0,366 ; 0,461]
Femme	428	0,179	[0,163 ; 0,197]	0,087	0,126	0,189	0,259	0,357	0,430	[0,384 ; 0,501]
PFDoA										
Total	744	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,069	0,084	[0,078 ; 0,097]
Age (ans)										
18-29	45	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	[<LOQ ; 0,062]
30-44	188	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,052	0,060	[0,054 ; 0,070]
45-59	283	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,050	0,077	0,095	[0,081 ; 0,130]
60-74	228	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,060	0,082	0,127	[0,082 ; 0,220]
Sexe										
Homme	316	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,062	0,078	[0,069 ; 0,096]
Femme	428	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,075	0,088	[0,078 ; 0,110]
PFBS										
Total	744	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
18-29	45	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
30-44	188	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
45-59	283	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
60-74	228	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Homme	316	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Femme	428	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
PFHxS										
Total	744	1,371	[1,272 ; 1,478]	0,572	0,903	1,481	2,105	2,820	3,419	[3,066 ; 3,893]
Age (ans)										
18-29	45	0,878	[0,724 ; 1,064]	0,454	0,560	0,847	1,228	1,798	2,008	[1,640 ; 2,301]
30-44	188	1,382	[1,236 ; 1,544]	0,538	0,921	1,553	2,085	2,750	3,149	[2,759 ; 4,136]
45-59	283	1,355	[1,206 ; 1,522]	0,636	0,958	1,449	2,022	2,751	3,178	[2,841 ; 3,571]
60-74	228	1,878	[1,695 ; 2,080]	0,920	1,259	1,981	2,604	3,601	4,384	[3,688 ; 5,752]
Sexe										
Homme	316	1,693	[1,557 ; 1,842]	0,808	1,291	1,820	2,378	2,990	3,661	[3,157 ; 4,276]
Femme	428	1,120	[1,015 ; 1,237]	0,484	0,724	1,089	1,717	2,517	3,079	[2,819 ; 3,651]

PFHpS											
Total	744	0,176	[0,163 ; 0,191]	<LOQ	<LOQ	0,186	0,282	0,388	0,478	[0,427 ; 0,543]	
Age (ans)											
18-29	45	0,094	[0,079 ; 0,113]	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,127	0,166	0,190	[0,155 ; 0,235]	
30-44	188	0,158	[0,142 ; 0,175]	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,248	0,314	0,355	[0,322 ; 0,382]	
45-59	283	0,189	[0,169 ; 0,211]	<LOQ	<LOQ	0,198	0,293	0,389	0,478	[0,416 ; 0,569]	
60-74	228	0,285	[0,257 ; 0,317]	<LOQ	0,207	0,281	0,393	0,540	0,669	[0,537 ; 0,768]	
Sexe											
Homme	316	0,225	[0,207 ; 0,245]	<LOQ	<LOQ	0,240	0,328	0,421	0,538	[0,454 ; 0,663]	
Femme	428	0,140	[0,125 ; 0,157]	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,216	0,327	0,424	[0,368 ; 0,513]	
PFOS											
Total	744	4,034	[4,034 ; 4,666]	1,824	2,782	4,225	6,622	9,946	13,535	[11,330 ; 15,590]	
Age (ans)											
18-29	45	2,640	[2,264 ; 3,015]	1,308	1,794	2,719	3,656	4,601	5,275	[4,053 ; 5,828]	
30-44	188	3,835	[3,473 ; 4,266]	1,781	2,551	3,970	5,471	7,867	10,498	[7,502 ; 15,859]	
45-59	283	4,715	[4,216 ; 5,241]	2,030	2,980	4,745	7,237	11,433	14,792	[11,574 ; 17,726]	
60-74	228	6,423	[5,855 ; 7,021]	3,290	4,299	6,368	9,054	12,403	15,437	[12,453 ; 20,603]	
Sexe											
Homme	316	4,754	[4,370 ; 5,159]	2,256	3,316	4,508	7,025	10,443	13,640	[11,330 ; 16,310]	
Femme	428	3,981	[3,598 ; 4,436]	1,672	2,434	3,848	6,203	9,515	12,930	[10,370 ; 15,670]	
PFDS											
Total	744	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
Age (ans)											
18-29	45	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
30-44	188	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
45-59	283	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
60-74	228	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
Sexe											
Homme	316	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
Femme	428	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
n-EtFOSAA											
Total	744	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
Age (ans)											
18-29	45	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
30-44	188	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
45-59	283	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
60-74	228	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
Sexe											
Homme	316	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
Femme	428	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
n-MeFOSAA											
Total	744	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,085	0,132	[0,116 ; 0,180]	
Age (ans)											
18-29	45	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,059	0,084	[0,043 ; 0,116]	
30-44	188	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,067	0,150	[0,073 ; 0,268]	
45-59	283	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,087	0,149	[0,099 ; 0,245]	
60-74	228	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,056	0,109	0,139	[0,115 ; 0,168]	
Sexe											
Homme	316	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,091	0,167	[0,108 ; 0,261]	
Femme	428	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,076	0,123	[0,096 ; 0,163]	
PFOSA											
Total	744	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
Age (ans)											
18-29	45	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
30-44	188	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
45-59	283	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
60-74	228	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
Sexe											
Homme	316	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	
Femme	428	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC	

NC : moyenne géométrique non calculée en raison du taux de censure important (>40 %)

I TABLEAU A4 I

Distribution des concentrations sériques en PFC ajustés sur les lipides sériques (µg/g de lipides) des adultes âgés de 18 à 74 ans, France continentale (2014-2016)

	n	MG	IC 95 % MG	P10	P25	P50	P75	P90	P95	IC 95 % P95
PFBA										
Total	744	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
18-29	45	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
30-44	188	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
45-59	283	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
60-74	228	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Homme	316	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Femme	428	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
PFPA										
Total	744	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
18-29	45	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
30-44	188	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
45-59	283	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
60-74	228	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Homme	316	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Femme	428	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
PFHxA										
Total	744	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
18-29	45	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
30-44	188	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
45-59	283	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
60-74	228	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Homme	316	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Femme	428	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
PFHpA										
Total	744	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
18-29	45	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
30-44	188	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
45-59	283	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
60-74	228	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Homme	316	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Femme	428	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
PFOA										
Total	744	0,342	[0,323 ; 0,363]	0,169	0,239	0,353	0,485	0,684	0,833	[0,755 ; 0,979]
Age (ans)										
18-29	45	0,292	[0,256 ; 0,335]	0,144	0,224	0,297	0,398	0,470	0,533	[0,424 ; 0,630]
30-44	188	0,308	[0,285 ; 0,335]	0,134	0,225	0,331	0,425	0,603	0,710	[0,614 ; 0,804]
45-59	283	0,331	[0,299 ; 0,367]	0,154	0,230	0,337	0,469	0,631	0,788	[0,643 ; 0,906]
60-74	228	0,459	[0,419 ; 0,503]	0,210	0,327	0,477	0,669	0,911	1,035	[0,977 ; 1,141]
Sexe										
Homme	316	0,384	[0,357 ; 0,416]	0,201	0,285	0,392	0,539	0,738	0,933	[0,783 ; 1,052]
Femme	428	0,306	[0,283 ; 0,332]	0,137	0,214	0,308	0,443	0,636	0,744	[0,696 ; 0,790]

PFNA										
Total	744	0,131	[0,123 ; 0,14]	0,069	0,093	0,132	0,183	0,251	0,308	[0,281 ; 0,347]
Age (ans)										
18-29	45	0,106	[0,091 ; 0,122]	0,056	0,078	0,102	0,145	0,183	0,196	[0,169 ; 0,215]
30-44	188	0,118	[0,107 ; 0,130]	0,061	0,087	0,118	0,165	0,230	0,266	[0,235 ; 0,300]
45-59	283	0,133	[0,120 ; 0,147]	0,069	0,092	0,129	0,179	0,256	0,339	[0,258 ; 0,479]
60-74	228	0,172	[0,160 ; 0,186]	0,097	0,128	0,169	0,230	0,309	0,354	[0,307 ; 0,394]
Sexe										
Homme	316	0,136	[0,126 ; 0,148]	0,070	0,097	0,137	0,186	0,259	0,321	[0,275 ; 0,354]
Femme	428	0,126	[0,115 ; 0,139]	0,067	0,091	0,125	0,179	0,242	0,291	[0,259 ; 0,367]
PFDA										
Total	744	0,055	[0,052 ; 0,059]	0,030	0,039	0,053	0,076	0,107	0,131	[0,118 ; 0,154]
Age (ans)										
18-29	45	0,047	[0,041 ; 0,054]	0,028	0,034	0,045	0,060	0,082	0,093	[0,072 ; 0,099]
30-44	188	0,049	[0,045 ; 0,055]	0,026	0,037	0,049	0,067	0,095	0,111	[0,099 ; 0,123]
45-59	283	0,056	[0,051 ; 0,061]	0,029	0,039	0,052	0,077	0,118	0,157	[0,123 ; 0,186]
60-74	228	0,070	[0,065 ; 0,076]	0,038	0,052	0,069	0,097	0,126	0,149	[0,123 ; 0,194]
Sexe										
Homme	316	0,054	[0,050 ; 0,059]	0,030	0,038	0,054	0,074	0,102	0,125	[0,110 ; 0,171]
Femme	428	0,056	[0,051 ; 0,061]	0,030	0,040	0,053	0,079	0,112	0,135	[0,117 ; 0,152]
PFA										
Total	744	0,029	[0,027 ; 0,031]	0,013	0,020	0,030	0,042	0,057	0,067	[0,064 ; 0,070]
Age (ans)										
18-29	45	0,025	[0,022 ; 0,029]	0,013	0,018	0,025	0,037	0,044	0,047	[0,042 ; 0,049]
30-44	188	0,025	[0,022 ; 0,029]	0,010	0,017	0,027	0,040	0,050	0,060	[0,050 ; 0,063]
45-59	283	0,028	[0,026 ; 0,031]	0,013	0,019	0,028	0,041	0,060	0,073	[0,065 ; 0,099]
60-74	228	0,037	[0,034 ; 0,040]	0,018	0,027	0,038	0,053	0,066	0,082	[0,068 ; 0,116]
Sexe										
Homme	316	0,028	[0,025 ; 0,031]	0,012	0,019	0,029	0,042	0,056	0,067	[0,062 ; 0,071]
Femme	428	0,029	[0,027 ; 0,032]	0,014	0,021	0,031	0,043	0,057	0,067	[0,063 ; 0,077]
PFDaA										
Total	744	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,012	0,015	[0,013 ; 0,017]
Age (ans)										
18-29	45	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ ; 0,013]
30-44	188	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,009	0,012	[0,010 ; 0,013]
45-59	283	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,007213	0,012	0,016	[0,012 ; 0,019]
60-74	228	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,009369	0,014	0,020	[0,014 ; 0,038]
Sexe										
Homme	316	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,011	0,014	[0,012 ; 0,016]
Femme	428	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,012	0,015	[0,013 ; 0,019]
PFBS										
Total	744	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
18-29	45	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
30-44	188	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
45-59	283	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
60-74	228	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Homme	316	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Femme	428	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
PFAxS										
Total	744	0,226	[0,209 ; 0,244]	0,095	0,151	0,229	0,356	0,472	0,589	[0,533 ; 0,629]
Age (ans)										
18-29	45	0,163	[0,134 ; 0,197]	0,078	0,109	0,162	0,220	0,325	0,376	[0,275 ; 0,425]
30-44	188	0,235	[0,209 ; 0,264]	0,093	0,170	0,243	0,359	0,476	0,582	[0,465 ; 0,731]
45-59	283	0,210	[0,187 ; 0,235]	0,095	0,144	0,223	0,321	0,430	0,535	[0,450 ; 0,603]
60-74	228	0,296	[0,266 ; 0,330]	0,137	0,186	0,315	0,441	0,582	0,731	[0,599 ; 0,902]
Sexe										
Homme	316	0,280	[0,257 ; 0,305]	0,149	0,197	0,283	0,402	0,539	0,620	[0,568 ; 0,714]
Femme	428	0,183	[0,166 ; 0,202]	0,082	0,119	0,178	0,280	0,415	0,477	[0,439 ; 0,628]

PFHpS										
Total	744	0,029	[0,027 ; 0,031]	0,012	0,019	0,029	0,047	0,065	0,079	[0,072 ; 0,091]
Age (ans)										
18-29	45	0,017	[0,015 ; 0,021]	0,009	0,012	0,017	0,024	0,030	0,035	[0,029 ; 0,041]
30-44	188	0,027	[0,024 ; 0,030]	0,012	0,018	0,028	0,042	0,054	0,063	[0,055 ; 0,072]
45-59	283	0,029	[0,026 ; 0,033]	0,013	0,020	0,030	0,046	0,060	0,075	[0,064 ; 0,096]
60-74	228	0,045	[0,040 ; 0,050]	0,022	0,030	0,047	0,066	0,087	0,106	[0,085 ; 0,125]
Sexe										
Homme	316	0,037	[0,034 ; 0,040]	0,018	0,026	0,038	0,054	0,073	0,091	[0,077 ; 0,103]
Femme	428	0,023	[0,020 ; 0,026]	0,010	0,015	0,023	0,034	0,053	0,066	[0,057 ; 0,073]
PFOS										
Total	744	0,664	[0,664 ; 0,766]	0,325	0,447	0,701	1,047	1,652	2,252	[1,823 ; 2,696]
Age (ans)										
18-29	45	0,489	[0,425 ; 0,557]	0,246	0,349	0,482	0,708	0,858	0,905	[0,802 ; 0,962]
30-44	188	0,653	[0,584 ; 0,736]	0,316	0,419	0,644	0,937	1,367	2,039	[1,288 ; 4,377]
45-59	283	0,729	[0,650 ; 0,814]	0,320	0,439	0,716	1,122	1,780	2,550	[1,751 ; 2,985]
60-74	228	1,013	[0,927 ; 1,106]	0,507	0,675	1,012	1,489	2,062	2,442	[2,152 ; 3,357]
Sexe										
Homme	316	0,786	[0,718 ; 0,858]	0,380	0,521	0,773	1,108	1,769	2,337	[1,855 ; 2,772]
Femme	428	0,652	[0,592 ; 0,725]	0,296	0,400	0,633	0,998	1,545	2,099	[1,619 ; 2,897]
PFDS										
Total	744	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
18-29	45	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
30-44	188	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
45-59	283	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
60-74	228	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Homme	316	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Femme	428	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
n-EtFOSAA										
Total	744	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
18-29	45	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
30-44	188	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
45-59	283	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
60-74	228	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Homme	316	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Femme	428	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
n-MeFOSAA										
Total	744	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,014	0,023	[0,020 ; 0,029]
Age (ans)										
18-29	45	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,011	0,015	[0,009 ; 0,020]
30-44	188	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,012	0,027	[0,013 ; 0,044]
45-59	283	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,014	0,024	[0,016 ; 0,036]
60-74	228	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,009	0,017	0,024	[0,019 ; 0,028]
Sexe										
Homme	316	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,015	0,028	[0,017 ; 0,043]
Femme	428	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,012	0,021	[0,016 ; 0,026]
PFOSA										
Total	744	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Age (ans)										
18-29	45	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
30-44	188	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
45-59	283	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
60-74	228	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Sexe										
Homme	316	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC
Femme	428	NC	NC	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	NC

NC : moyenne géométrique non calculée en raison du taux de censure important (>40 %)