



Service de Toxicologie

PROGRAMME DE BIOMONITORING HUMAIN WALLON – BMH-WAL

VALEURS DE RÉFÉRENCE

Analyses complémentaires

PHASE 1 : nouveau-nés, adolescents et adultes 20-39 ans (2019-2020)

**Résultats des dosages dans le sang de substances perfluorées (PFAS),
retardateurs de flammes bromés (PBDEs), et PCBs indicateurs.**

Octobre 2022

Professeure Corinne Charlier

Cheffe de Service

Toxicologie clinique, médico-légale, de
l'environnement et en entreprise, CHU Liège

Catherine Pirard

Responsable scientifique

Toxicologie clinique, médico-légale, de
l'environnement et en entreprise, CHU Liège

TABLE DES MATIERES

TABLE DES ACRONYMES.....	3
1. INTRODUCTION	4
2. PRÉSENTATIONS DES BIOMARQUEURS	5
2.1 Les substances perfluorées (PFAS)	5
2.2 Les polybromodiphényléthers (PBDEs)	6
2.3 Les PCBs	6
3. ANALYSES STATISTIQUES.....	7
4. STATISTIQUES DESCRIPTIVES ET VALEURS DE RÉFÉRENCE POUR LES ANALYSES COMPLÉMENTAIRES DANS LE SANG: PFAS, PBDES ET PCBS.....	7
4.1. Les PFAS dans le sang des adolescents, adultes et nouveau-nés (sang de cordon) .	17
4.2. Les PBDEs dans le sang des adolescents et adultes	17
4.3. Les PCBs indicateurs dans le sang des adolescents.....	18
5. COMPARAISON AVEC D’AUTRES ÉTUDES NATIONALES ET INTERNATIONALES POUR LES ANALYSES COMPLÉMENTAIRES DANS LE SANG: PFAS, PBDES ET PCBS	19
5.1. Les PFAS.....	19
5.2. Les PBDEs.....	28
5.3. Les PCBs indicateurs.....	35
6. CONCLUSIONS	41
RÉFÉRENCES	43
ANNEXES.....	49

TABLE DES ACRONYMES

HAPs : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

PFAS : substances perfluorées

PCBs : polychlorobiphényles

PFHxA : acide perfluorohexanoïque

PFHpA : acide perfluoroheptanoïque

PFOA : acide perfluorooctanoïque

PFNA : acide perfluorononanoïque

PFDA : acide perfluorodécanoïque

PFHxS : sulfonate de perfluorohexane

PFOS : sulfonate de perfluorooctane

PBDEs : polybromodiphényléthers

SVHC : substances extrêmement préoccupantes (Substances of Very High Concern)

IUPAC: International Union of Pure and Applied Chemistry

POPs : Polluants Organiques Persistants

BMH Wal: Biomonitoring Humain Wallon

RV₉₅ : valeur de référence

LOQ : limite de quantification

P5, P25, P50, P75, P90, P95 : percentile 5, 10, 25, 75, 90 et 95 respectivement

N: Nombre de participants

MG : moyenne géométrique

PCBs_{tot} : PCBs totaux

NHANES : National Health and Nutrition Examination Survey

CHMS : Canadian Health Measures Survey

1. INTRODUCTION

Le premier programme de Biomonitoring Humain Wallon, financé par le Gouvernement Wallon, a démarré en 2019 avec pour objectif principal l'obtention de données de référence sur l'exposition des Wallons à diverses substances polluantes rencontrées dans l'environnement.

Les données obtenues via le biomonitoring ont pour objectifs de permettre :

- de déterminer les concentrations de référence spécifiques de la population wallonne,
- de déterminer si certaines classes d'âge sont plus exposées,
- de déterminer si l'imprégnation est la même pour les deux sexes,
- de déterminer l'influence de la typologie du lieu de résidence (urbaine/rurale/agricole/industrielle), en fonction des critères retenus pour la sélection des aires géographiques d'études,
- de déterminer si l'exposition des Wallons aux substances est similaire ou différente de l'exposition dans les autres pays (européens) de niveau socio-économique similaire,
- lorsque des valeurs limites d'exposition sont disponibles, d'évaluer si les concentrations sanguines ou urinaires atteintes posent un problème pour la santé et nécessitent des mesures de prévention ou d'intervention particulières.

En fonction de la taille de l'échantillon et sur base d'une enquête complémentaire, des associations entre le niveau d'imprégnation et des sources d'exposition potentielles aux substances /polluants, le statut socio-économique des participants ou certaines habitudes de vie pourraient être recherchées.

La phase 1 de ce programme s'est focalisée sur une population couvrant 3 tranches d'âge : les nouveau-nés, les adolescents (12-19 ans) et les jeunes adultes (20-39 ans). Les prélèvements biologiques ont été collectés entre décembre 2019 et juillet 2020. Les substances sélectionnées dans un premier temps sont des métaux et éléments traces, des plastifiants (bisphénols), des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAPs), plusieurs familles de pesticides et des PCBs.

Dans un deuxième temps, d'autres marqueurs sanguins comme les substances perfluorées (PFAS), des retardateurs de flammes bromés ou les PCBs indicateurs ont été dosés soit sur l'ensemble des populations recrutées, soit sur certaines tranches d'âge seulement.

Le présent rapport concerne les résultats des analyses complémentaires obtenus pour les biomarqueurs suivants :

- Dans le sang prélevé chez les adolescents (12-19 ans), les jeunes adultes (20-39 ans) et les nouveau-nés (sang de cordon):

- 7 PFAS : acide perfluorohexanoïque (PFHxA), acide perfluoroheptanoïque (PFHpA), acide perfluorooctanoïque (PFOA), acide perfluorononanoïque (PFNA), acide perfluorodécanoïque (PFDA), sulfonate de perfluorohexane (PFHxS) et sulfonate de perfluorooctane (PFOS).
- Dans le sang prélevé chez les adolescents (12-19 ans) et les jeunes adultes (20-39 ans):
 - 7 PBDEs (polybromodiphényléthers) : PBDE-28, PBDE-47, PBDE-99, PBDE-100, PBDE-153, PBDE-154, et PBDE-183
- Dans le sang prélevé chez les adolescents (12-19 ans) :
 - 7 PCBs indicateurs : PCB-28, PCB-52, PCB-101, PCB-118, PCB-138, PCB-153, et PCB-180.

2. PRÉSENTATIONS DES BIOMARQUEURS

2.1 Les substances perfluorées (PFAS)

Les substances perfluorées ou PFAS (PerFluoroAlkyl Substances) représentent une famille de molécules possédant une chaîne carbonée dont tous les atomes de carbone sont substitués par des atomes de fluor. Elles sont synthétisées depuis les années 1950 pour leurs propriétés hydro-oléofuges, et sont utilisées dans les surfaces antiadhésives pour les ustensiles et batteries de cuisine, les emballages alimentaires, le traitement anti taches pour les tapis et tissus, les vêtements imperméables et excipients de certaines crèmes, avec pour rôle d'être agent tensioactif, mouillant, émulsifiant ou dispersant (ATSDR, 2018; Kissa, 2001; Lindstrom et al., 2011). En plus de leur grande hydrophobicité et lipophobicité, leur liaison chimique carbone-fluor est l'une des plus fortes en chimie organique, leur conférant une grande stabilité. Lorsqu'ils se retrouvent dans l'environnement, les PFAS sont extrêmement persistants, capables d'être transportés sur de longues distances et de se bioaccumuler dans les êtres vivants. Depuis 2009, les usages du PFOA et PFOS ont été fortement réduits suite à leur classification en tant que Polluant Organique Persistant (POP) selon la Convention de Stockholm. Néanmoins, les anciennes productions et utilisations massives de ces produits ont contaminé l'environnement, et de nombreuses études ont démontré leur présence dans les différents maillons de la chaîne alimentaire que ce soient au niveau du règne animal ou végétal (Curtui et al., 2012; Ericson et al., 2008 ; Kim et al., 2019 ; Klenow et al., 2013 ; Sungur 2018), dans les eaux de surface et eaux potables (Lestremau, 2012 ; Miralles-Marco A. et al., 2015), mais aussi dans l'air intérieur et les poussières de maison (Björklund et al., 2009). Une fois qu'ils ont pénétré dans l'organisme par ingestion, inhalation ou contact dermique, les PFAS se lient aux protéines du sang. Comme ils sont peu métabolisés, ils vont s'accumuler dans l'organisme. Leur dosage dans le sang reflète donc une exposition à long terme.

L'exposition aux PFAS a été reliée à une série d'effets néfastes pour la santé, comme des maladies de la thyroïde, une augmentation du taux de cholestérol, des effets sur la reproduction et la fertilité, des dommages au foie, des cancers du rein et des testicules. Les

PFAS affectent aussi le fonctionnement de notre système immunitaire, même à de très faibles concentrations, et peuvent réduire la réponse immunitaire à la vaccination chez les enfants. D'autres effets suspectés tels que l'asthme et les allergies, la cancérogénicité chez l'homme, le diabète et l'obésité, la fonction rénale réduite ou l'ostéoporose n'ont jusqu'ici pu être démontrés de manière univoque (ATSDR, 2018 ; EFSA, 2020). Certains PFAS dont le PFOA, PFNA, PFDA, ou PFHxS, sont inclus dans la liste des substances extrêmement préoccupantes (SVHC) dans le cadre du règlement REACH en raison de leur propriétés très persistantes, bioaccumulables, toxiques, cancérigènes, mutagènes, et reprotoxiques.

2.2 Les polybromodiphényléthers (PBDEs)

Les polybromodiphényléthers (PBDEs) sont des retardateurs de flammes bromés qui étaient utilisés depuis les années 1970 dans de nombreux objets ou matériaux de la vie quotidienne comme les textiles, plastiques, équipements électriques ou électroniques, mousses isolantes, matériaux de construction, afin de prévenir ou réduire les risques d'ignition et la vitesse de combustion du matériaux (de Wit, 2002; Sjordjin et al., 2003). Il en existe 209 congénères caractérisés chacun par leur nombre d'atomes de brome ainsi que la position de ceux-ci sur la structure carbonée. Ils sont nommés selon la nomenclature IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) de la même manière que les PCBs (Ballschmitter and Zell, 1980). Non liés chimiquement au polymère, ils peuvent migrer hors du produit final au cours de son utilisation, élimination ou recyclage. En raison de leur persistance et lipophilie, ils sont capables de se bioaccumuler dans l'environnement et atteindre la chaîne alimentaire qui est une des principales sources d'exposition pour l'Homme. L'environnement intérieur a également été suggéré comme source importante d'exposition par inhalation, ingestion et/ou contact cutané des poussières domestiques. Leur rémanence et leurs effets néfastes potentiels pour l'Homme et l'environnement ont conduit à l'interdiction ou restriction de leurs utilisations et production dans l'Europe et l'Amérique du Nord pour certains mélanges (penta- et octa-BDE) en 2003 et 2004, alors que les restrictions sur le déca-BDE ont eu lieu 5 à 10 ans plus tard (Covaci et al., 2011 ; de Wit et al., 2010). Parallèlement, les PBDEs ont été progressivement ajoutés à la liste des Polluants Organiques Persistants (POPs) de 2009 à 2017 (UNEP, 2007).

2.3 Les PCBs

La famille des PCBs regroupe 209 composés qui diffèrent en fonction de la position et du nombre d'atomes de chlore sur les cycles aromatiques, et nommés selon la nomenclature IUPAC (Ballschmitter and Zell, 1980). Ce sont des produits de synthèse utilisés pour leurs propriétés lubrifiantes et isolantes, leur stabilité chimique et physique, principalement dans les transformateurs et les condensateurs électriques, mais aussi comme plastifiants dans des caoutchoucs, comme solvants d'encre de papiers autocopiants, comme additifs de colles, de cires, d'encres, de pesticides, dans les pigments de peinture, etc. Depuis 1970, leur production et leurs utilisations ont progressivement été réduites pour être finalement interdites dans les années 80 d'abord aux Etats Unis, puis en Europe. Ils se sont retrouvés dans l'environnement

de façon involontaire, par les fuites de transformateurs, sur les sites de production ou d'élimination, ou encore rejetés volontairement dans l'environnement pour ne pas assumer le coût de leur destruction (Fréry et al., 2012 ; UNEP, 2007, WHO, 2003).

Etant stables chimiquement et peu biodégradables, ils sont rémanents dans l'environnement et s'accumulent dans la chaîne alimentaire, principalement dans les tissus gras des animaux (poissons gras en contact avec les sédiments contaminés, lait et produits laitiers, œufs, viande). L'alimentation et plus particulièrement l'ingestion de produits alimentaires gras d'origine animale (comme le lait, les produits laitiers, le poisson, la viande) constitue donc la source principale d'exposition aux PCBs pour la population générale. Ils s'accumulent également dans notre organisme au cours du temps, et peuvent y persister pendant des années après l'exposition. Leur mesure dans le sang reflète donc généralement la dose interne cumulée, même si elle peut être influencée par l'exposition récente (Fréry et al., 2012 ; UNEP, 2007, WHO, 2003).

3. ANALYSES STATISTIQUES

Les valeurs de référence (RV₉₅) ont été établies et les statistiques descriptives ont été déterminées selon la « méthodologie d'élaboration des valeurs de référence dans le cadre du projet BMH-Wal 1 » (version 4) rédigée par l'ISSeP et approuvée par les trois laboratoires du consortium. Pour chacun des biomarqueurs, un histogramme a été construit afin d'inspecter visuellement si la distribution des valeurs ne présentait pas différents sous-groupes d'exposition (joint en annexe 1). Comme attendu, aucun des marqueurs ne présentait une distribution normale justifiant l'utilisation de tests statistiques non-paramétriques, et aucun sous-groupe d'exposition n'a été mis en évidence. Pour chaque « outlier » identifié par la méthode de Tukey modifié, le résultat de l'analyse a été revérifié (inspection du chromatogramme, vérification de la validité de la série), et les réponses au questionnaire (questions pertinentes selon le marqueur) ont été examinées afin d'y déceler une éventuelle exposition professionnelle ou extra-professionnelle particulière. Pour l'ensemble des marqueurs, aucun outlier n'a été exclu. Des tests de Mann-Whitney ont été réalisés afin d'identifier les sous-groupes qui présentent des concentrations de marqueurs significativement différentes. Les covariables utilisées dans ces tests sont la catégorie d'âge et le sexe. La différence a été jugée significative pour $p < 0.05$. De plus, la pertinence d'établir des RV₉₅ différentes pour ces sous-groupes a été évaluée au moyen d'un z test pour une proportion. Le seuil de significativité de ce test a été fixé à 0.001.

4. STATISTIQUES DESCRIPTIVES ET VALEURS DE RÉFÉRENCE POUR LES ANALYSES COMPLÉMENTAIRES DANS LE SANG: PFAS, PBDES ET PCBs

Pour chacun des biomarqueurs, le nombre total de participants, le pourcentage de participants présentant des valeurs supérieures et inférieures à la LOQ, la moyenne

géométrique (MG) et son intervalle de confiance à 95%, les percentiles P5, P25, P50, P75, P90, P95 et son intervalle de confiance à 95%, et la valeur de référence (RV_{95}) ont été déterminés et sont présentés dans les tableaux 1 (1a à 1c) pour l'ensemble de la population étudiée et pour les différents sous-groupes lorsque c'était pertinent. Les p-values obtenues lors des tests de Mann-Whitney (sur les concentrations volumétriques) et z-test pour une proportion sont également rapportées. Les valeurs sont exprimées en $\mu\text{g/L}$ pour les PFAS, et en ng/g lipide et ng/L pour les PBDEs et les PCBs.

Tableau 1a : Statistiques descriptives pour les PFAS (µg/L)

PFHxA															
	N TOT	LOQ µg/l	N>LOQ %	N<LOQ %	Mann Whitney p-value	min-max µg/l	MG [95%CI] µg/l	P5 µg/l	P25 µg/l	P50 µg/l	P75 µg/l	P90 µg/l	P95 [95%CI] µg/l	RV ₉₅ µg/l	z-test p-value
Tous															
	532	0.10	0.0	100.0											
Sang de cordon															
	271	0.10	0.0	100.0											
PFHpA															
	N TOT	LOQ µg/l	N>LOQ %	N<LOQ %	Mann Whitney p-value	min-max µg/l	MG [95%CI] µg/l	P5 µg/l	P25 µg/l	P50 µg/l	P75 µg/l	P90 µg/l	P95 [95%CI] µg/l	RV ₉₅ µg/l	z-test p-value
Tous															
	532	0.10	6.6	93.4		<0.1-0.94	<0.10 -	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	0.11 [<0.1-0.14]		
Groupes d'âge					<0.0001										0.0116
Adolescents	276	0.10	10.5	89.5		<0.1-0.94	<0.10 -	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	0.10	0.13 [0.11-0.18]		
Adultes	256	0.10	2.3	97.7											
Sang de cordon															
	271	0.10	2.6	97.4											
PFOA															
	N TOT	LOQ µg/l	N>LOQ %	N<LOQ %	Mann Whitney p-value	min-max µg/l	MG [95%CI] µg/l	P5 µg/l	P25 µg/l	P50 µg/l	P75 µg/l	P90 µg/l	P95 [95%CI] µg/l	RV ₉₅ µg/l	z-test p-value
Tous															
	532	0.50	95.5	4.5		<0.5-5.07	1.08 [1.04-1.13]	0.53	0.86	1.12	1.44	1.82	2.04 [1.97-2.41]	2.00	
Genre					<0.0001										0.0016
Femmes	287	0.50	92.7	7.3		<0.5-5.07	0.95 [0.89-1.01]	<0.50	0.76	0.98	1.27	1.67	1.96 [1.82-2.33]		
Hommes	245	0.50	98.8	1.2		<0.5-4.33	1.26 [1.20-1.33]	0.72	1.01	1.26	1.57	1.93	2.39 [2.02-2.93]		
Sang de cordon															
	271	0.50	81.2	18.8		<0.5-2.75	0.63 [0.59-0.67]	<0.50	0.54	0.68	0.85	1.08	1.33 [1.15-1.55]	1.30	

Tableau 1a : suite

PFNA																
	N TOT	LOQ µg/l	N>LOQ %	N<LOQ %	Mann Whitney p-value	min-max µg/l	MG [95%CI] µg/l	P5 µg/l	P25 µg/l	P50 µg/l	P75 µg/l	P90 µg/l	P95 [95%CI] µg/l	RV₉₅ µg/l	z-test p-value	
Tous																
	532	0.10	96.8	3.2		<0.1-1.57	0.30 [0.29-0.32]	0.12	0.22	0.30	0.43	0.57	0.71 [0.67-0.76]	0.71		
Groupes d'âge					<0.0001											0.0013
Adolescents	276	0.10	97.8	2.2		<0.1-1.37	0.28 [0.27-0.30]	0.13	0.21	0.28	0.39	0.51	0.67 [0.56-0.75]			
Adultes	256	0.10	95.7	4.3		<0.1-1.57	0.32 [0.30-0.35]	0.12	0.24	0.35	0.46	0.62	0.74 [0.68-0.95]			
Genre					0.0313											0.7141
Femmes	287	0.10	95.8	4.2		<0.1-1.57	0.29 [0.27-0.31]	0.11	0.21	0.29	0.42	0.58	0.71 [0.63-0.76]			
Hommes	245	0.10	98.0	2.0		<0.1-1.38	0.32 [0.30-0.34]	0.14	0.24	0.33	0.44	0.56	0.70 [0.60-1.03]			
Sang de cordon																
	271	0.10	73.4	26.6		<0.1-0.84	0.12 [0.11-0.13]	<0.10	<0.10	0.13	0.18	0.23	0.30 [0.24-0.32]	0.30		
PFDA																
	N TOT	LOQ µg/l	N>LOQ %	N<LOQ %	Mann Whitney p-value	min-max µg/l	MG [95%CI] µg/l	P5 µg/l	P25 µg/l	P50 µg/l	P75 µg/l	P90 µg/l	P95 [95%CI] µg/l	RV₉₅ µg/l	z-test p-value	
Tous																
	532	0.10	78.8	21.2		<0.1-11.74	0.15 [0.15-0.16]	<0.10	0.11	0.16	0.25	0.35	0.43 [0.39-0.51]	0.43		
Sang de cordon																
	271	0.10	22.5	77.5		<0.1-0.35	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	0.13	0.15 [0.14-0.19]	0.15		

Tableau 1a : suite

PFHxS															
	N TOT	LOQ µg/l	N>LOQ %	N<LOQ %	Mann Whitney p-value	min-max µg/l	MG [95%CI] µg/l	P5 µg/l	P25 µg/l	P50 µg/l	P75 µg/l	P90 µg/l	P95 [95%CI] µg/l	RV₉₅ µg/l	z-test p-value
Tous															
	532	0.15	98.9	1.1		<0.15-19.58	0.54 [0.51-0.58]	0.22	0.36	0.51	0.78	1.18	1.69 [1.43-1.99]	1.60	
Groupes d'âge					<0.0001										0.0512
Adolescents	276	0.15	100.0	0.0		0.15-19.58	0.51 [0.47-0.55]	0.23	0.34	0.45	0.60	1.24	1.92 [1.43-2.54]		
Adultes	256	0.15	97.7	2.3		<0.15-9.30	0.58 [0.54-0.63]	0.22	0.40	0.60	0.86	1.16	1.62 [1.29-1.89]		
Genre					<0.0001										<0.0001
Femmes	287	0.15	98.6	1.4		<0.15-19.58	0.45 [0.42-0.49]	0.19	0.30	0.42	0.60	0.93	1.29 [1.02-2.03]	1.20	
Hommes	245	0.15	99.2	0.8		<0.15-14.23	0.68 [0.62-0.73]	0.29	0.46	0.63	0.93	1.45	1.89 [2.25-3.59]	1.80	
Sang de cordon															
	271	0.15	76.0	24.0		<0.15-2.01	0.20 [0.18-0.21]	<0.15	0.15	0.20	0.29	0.41	0.62 [0.48-1.01]	0.62	
PFOS															
	N TOT	LOQ µg/l	N>LOQ %	N<LOQ %	Mann Whitney p-value	min-max µg/l	MG [95%CI] µg/l	P5 µg/l	P25 µg/l	P50 µg/l	P75 µg/l	P90 µg/l	P95 [95%CI] µg/l	RV₉₅ µg/l	z-test p-value
Tous															
	532	0.50	97.2	2.8		<0.5-69.72	1.82 [1.71-1.95]	0.59	1.14	1.82	2.78	4.44	6.62 [5.31-8.33]	6.60	
Groupes d'âge					0.0211										0.8185
Adolescents	276	0.50	97.5	2.5		<0.5-69.72	1.75 [1.59-1.92]	0.59	1.06	1.66	2.80	4.30	6.80 [5.31-9.03]		
Adultes	256	0.50	96.9	3.1		<0.5-39.06	1.91 [1.74-2.09]	0.59	1.34	1.96	2.78	4.49	5.91 [4.71-10.73]		
Sang de cordon															
	271	0.50	50.6	49.4		<0.5-2.87	<0.50 -	<0.50	<0.50	0.50	0.62	1.03	1.35 [1.14-1.87]	1.30	

La différence entre les catégories (M-W) est considérée comme significative pour p<0.05

La différence entre les RV95 (z-test) est considérée comme significative pour p<0.001

Tableau 1b : Statistiques descriptives pour les PBDEs (en ng/g lipide et ng/l)

PBDE-28																			
	N TOT	LOQ ng/l	N>LOQ %	N<LOQ %	Mann-Whitney p-value	min-max ng/g lip. (ng/l)	Moyenne géométrique ng/g lip. (ng/l)			P5 ng/g lip (ng/l)	P25 ng/g lip (ng/l)	P50 ng/g lip (ng/l)	P75 ng/g lip (ng/l)	P90 ng/g lip (ng/l)	P95 ng/g lip (ng/l)	P95 ng/g lip. (ng/l)		RV ₉₅ ng/g lip (ng/l)	z-test p-value
							Moyenne	95%CI inf	95%CI sup							95%CI inf	5%CI sup		
Tous (12-19 ans et 20-39 ans)																			
	519	5.0	0.0	100.0															
PBDE-47																			
	N TOT	LOQ ng/l	N>LOQ %	N<LOQ %	Mann-Whitney p-value	min-max ng/g lip. (ng/l)	Moyenne géométrique ng/g lip. (ng/l)			P5 ng/g lip (ng/l)	P25 ng/g lip (ng/l)	P50 ng/g lip (ng/l)	P75 ng/g lip (ng/l)	P90 ng/g lip (ng/l)	P95 ng/g lip (ng/l)	P95 ng/g lip. (ng/l)		RV ₉₅ ng/g lip (ng/l)	z-test p-value
							Moyenne	95%CI inf	95%CI sup							95%CI inf	5%CI sup		
Tous (12-19 ans et 20-39 ans)																			
	519	5.0	29.1	70.9		<LOQ-4.1 (<5.0-19.0)	<LOQ (<5.0)	-	-	<LOQ (<5.0)	<LOQ (<5.0)	<LOQ (<5.0)	0.9 (5.3)	1.5 (7.5)	1.9 (9.8)	1.7 (9.0)	2.3 (10.7)	1.9 (9.8)	
Groupes d'âge					0.0085														0.0225
Adolescents	268	5.0	23.5	76.5		<LOQ-4.0 (<5.0-19.0)	<LOQ (<5.0)	-	-	<LOQ (<5.0)	<LOQ (<5.0)	<LOQ (<5.0)	<LOQ (<5.0)	1.5 (7.2)	2.1 (10.1)	1.7 (7.8)	3.2 (11.0)		
Adultes	251	5.0	35.1	64.9		<LOQ-4.1 (<5.0-14.1)	<LOQ (<5.0)	-	-	<LOQ (<5.0)	<LOQ (<5.0)	<LOQ (<5.0)	1.0 (5.6)	1.5 (8.2)	1.8 (9.7)	1.6 (8.5)	2.5 (11.2)		
PBDE-99																			
	N TOT	LOQ ng/l	N>LOQ %	N<LOQ %	Mann-Whitney p-value	min-max ng/g lip. (ng/l)	Moyenne géométrique ng/g lip. (ng/l)			P5 ng/g lip (ng/l)	P25 ng/g lip (ng/l)	P50 ng/g lip (ng/l)	P75 ng/g lip (ng/l)	P90 ng/g lip (ng/l)	P95 ng/g lip (ng/l)	P95 ng/g lip. (ng/l)		RV ₉₅ ng/g lip (ng/l)	z-test p-value
							Moyenne	95%CI inf	95%CI sup							95%CI inf	5%CI sup		
Tous (12-19 ans et 20-39 ans)																			
	519	5.3	1.0	99.0															
PBDE-100																			
	N TOT	LOQ ng/l	N>LOQ %	N<LOQ %	Mann-Whitney p-value	min-max ng/g lip. (ng/l)	Moyenne géométrique ng/g lip. (ng/l)			P5 ng/g lip (ng/l)	P25 ng/g lip (ng/l)	P50 ng/g lip (ng/l)	P75 ng/g lip (ng/l)	P90 ng/g lip (ng/l)	P95 ng/g lip (ng/l)	P95 ng/g lip. (ng/l)		RV ₉₅ ng/g lip (ng/l)	z-test p-value
							Moyenne	95%CI inf	95%CI sup							95%CI inf	5%CI sup		
Tous (12-19 ans et 20-39 ans)																			
	519	5.0	0.2	99.8															

Tableau 1b suite

PBDE-153																				
	N TOT	LOQ ng/l	N>LOQ %	N<LOQ %	Mann-Whitney p-value	min-max ng/g lip (ng/l)	Moyenne géométrique ng/g lip (ng/l)			P5 ng/g lip (ng/l)	P25 ng/g lip (ng/l)	P50 ng/g lip (ng/l)	P75 ng/g lip (ng/l)	P90 ng/g lip (ng/l)	P95 ng/g lip (ng/l)	P95 ng/g lip. (ng/l)		RV ₉₅ ng/g lip (ng/l)	z-test p-value	
							Moyenne	95%CI inf.	95%CI sup.							95%CI inf.	5%CI sup.			
Tous (12-19 ans et 20-39 ans)																				
	519	5.0	21.6	78.4		<LOQ-4.9 (<5.0-43.2)	<LOQ (<5.0)	-	-	<LOQ (<5.0)	<LOQ (<5.0)	<LOQ (<5.0)	<LOQ (<5.0)	1.2 (6.8)	1.7 (9.2)	1.4 (7.9)	2.3 (11.6)	1.7 (9.2)		
Groupes d'âge					<0.0001															<0.0001
Adolescents	268	5.0	8.2	91.8		<LOQ-5.9 (<0.5-43.2)	<LOQ (<5.0)	-	-	<LOQ (<5.0)	<LOQ (<5.0)	<LOQ (<5.0)	<LOQ (<5.0)	<LOQ (<5.0)	1.3 (6.2)	1.0 (5.0)	2.3 (8.6)	1.3 (6.2)		
Adultes	251	5.0	35.9	64.1		<LOQ-4.1 (<5.0-19.9)	<LOQ (<5.0)	-	-	<LOQ (<5.0)	<LOQ (<5.0)	<LOQ (<5.0)	1.0 (5.8)	1.6 (8.2)	1.9 (9.9)	1.7 (9.0)	2.7 (13.6)	1.9 (9.9)		
PBDE-154																				
	N TOT	LOQ ng/l	N>LOQ %	N<LOQ %	Mann-Whitney p-value	min-max ng/g lip (ng/l)	Moyenne géométrique ng/g lip (ng/l)			P5 ng/g lip (ng/l)	P25 ng/g lip (ng/l)	P50 ng/g lip (ng/l)	P75 ng/g lip (ng/l)	P90 ng/g lip (ng/l)	P95 ng/g lip (ng/l)	P95 ng/g lip. (ng/l)		RV ₉₅ ng/g lip (ng/l)	z-test p-value	
							Moyenne	95%CI inf.	95%CI sup.							95%CI inf.	5%CI sup.			
Tous (12-19 ans et 20-39 ans)																				
	519	6.0	0.0	100.0																
PBDE-183																				
	N TOT	LOQ ng/l	N>LOQ %	N<LOQ %	Mann-Whitney p-value	min-max ng/g lip (ng/l)	Moyenne géométrique ng/g lip (ng/l)			P5 ng/g lip (ng/l)	P25 ng/g lip (ng/l)	P50 ng/g lip (ng/l)	P75 ng/g lip (ng/l)	P90 ng/g lip (ng/l)	P95 ng/g lip (ng/l)	P95 ng/g lip. (ng/l)		RV ₉₅ ng/g lip (ng/l)	z-test p-value	
							Moyenne	95%CI inf.	95%CI sup.							95%CI inf.	5%CI sup.			
Tous (12-19 ans et 20-39 ans)																				
	519	6.0	0.0	100.0																

La différence entre les catégories (M-W) est considérée comme significative pour p<0.05

La différence entre les RV95 (z-test) est considérée comme significative pour p<0.001

Tableau 1c : Statistiques descriptives pour les PCBs indicateurs (en ng/g lipide et ng/l)

PCB-28																				
	N TOT	LOQ ng/l	N>LOQ %	N<LOQ %	Mann-Whitney p-value	min-max ng/g lip (ng/l)	Moyenne géométrique ng/g lip (ng/l)			P5 ng/g lip (ng/l)	P25 ng/g lip (ng/l)	P50 ng/g lip (ng/l)	P75 ng/g lip (ng/l)	P90 ng/g lip (ng/l)	P95 ng/g lip (ng/l)	P95 ng/g lip. (ng/l)		RV ₉₅ ng/g lip (ng/l)	z-test	
							Moyenne	95%CI inf	95%CI sup							95%CI inf	95%CI sup			p-value
Adolescents (12-19 ans)																				
	246	18.0	10.2	89.8		<LOQ-12.5 (<18-53.8)	<LOQ (<18)	-	-	<LOQ (<18)	<LOQ (<18)	<LOQ (<18)	<LOQ (<18)	3.0 (13.5)	4.6 (27.2)	3.7 (19.9)	6.8 (33.5)	4.6 (27)		
PCB-52																				
	N TOT	LOQ ng/l	N>LOQ %	N<LOQ %	Mann-Whitney p-value	min-max ng/g lip (ng/l)	Moyenne géométrique ng/g lip (ng/l)			P5 ng/g lip (ng/l)	P25 ng/g lip (ng/l)	P50 ng/g lip (ng/l)	P75 ng/g lip (ng/l)	P90 ng/g lip (ng/l)	P95 ng/g lip (ng/l)	P95 ng/g lip. (ng/l)		RV ₉₅ ng/g lip (ng/l)	z-test	
							Moyenne	95%CI inf	95%CI sup							95%CI inf	95%CI sup			p-value
Adolescents (12-19 ans)																				
	246	15.0	4.9	95.1		<LOQ-4.9 (<15-23.0)														
PCB-101																				
	N TOT	LOQ ng/l	N>LOQ %	N<LOQ %	Mann-Whitney p-value	min-max ng/g lip (ng/l)	Moyenne géométrique ng/g lip (ng/l)			P5 ng/g lip (ng/l)	P25 ng/g lip (ng/l)	P50 ng/g lip (ng/l)	P75 ng/g lip (ng/l)	P90 ng/g lip (ng/l)	P95 ng/g lip (ng/l)	P95 ng/g lip. (ng/l)		RV ₉₅ ng/g lip (ng/l)	z-test	
							Moyenne	95%CI inf	95%CI sup							95%CI inf	95%CI sup			p-value
Adolescents (12-19 ans)																				
	246	15.0	1.6	98.4		<LOQ-4.9 (<15-29.7)														
PCB-118																				
	N TOT	LOQ ng/l	N>LOQ %	N<LOQ %	Mann-Whitney p-value	min-max ng/g lip (ng/l)	Moyenne géométrique ng/g lip (ng/l)			P5 ng/g lip (ng/l)	P25 ng/g lip (ng/l)	P50 ng/g lip (ng/l)	P75 ng/g lip (ng/l)	P90 ng/g lip (ng/l)	P95 ng/g lip (ng/l)	P95 ng/g lip. (ng/l)		RV ₉₅ ng/g lip (ng/l)	z-test	
							Moyenne	95%CI inf	95%CI sup							95%CI inf	95%CI sup			p-value
Adolescents (12-19 ans)																				
	246	5.0	89.0	11.0		<LOQ-4.9 (<5.0-46.0)	2.1 (10.4)	2.0 (9.6)	2.3 (11.3)	<LOQ (<5.0)	1.6 (7.6)	2.3 (11.5)	3.3 (15.9)	4.5 (21.1)	5.0 (24.8)	4.6 (21.4)	5.4 (31.5)	5.0 (24)		
PCB-138																				
	N TOT	LOQ ng/l	N>LOQ %	N<LOQ %	Mann-Whitney p-value	min-max ng/g lip (ng/l)	Moyenne géométrique ng/g lip (ng/l)			P5 ng/g lip (ng/l)	P25 ng/g lip (ng/l)	P50 ng/g lip (ng/l)	P75 ng/g lip (ng/l)	P90 ng/g lip (ng/l)	P95 ng/g lip (ng/l)	P95 ng/g lip. (ng/l)		RV ₉₅ ng/g lip (ng/l)	z-test	
							Moyenne	95%CI inf	95%CI sup							95%CI inf	95%CI sup			p-value
Adolescents (12-19 ans)																				
	246	6.0	98.4	1.6		<LOQ-54.0 (<6.0-313.7)	6.9 (33.9)	6.3 (31.3)	7.5 (36.8)	2.8 (12.6)	4.6 (24.4)	7.0 (34.0)	10.6 (50.7)	15.3 (75.7)	19.1 (94.4)	16.3 (79.0)	22.8 (109.9)	19 (94)		
Genre					0.0005															0.7085
Filles	124	6.0	97.6	2.4		<LOQ-54.0 (<6.0-313.7)	5.9 (29.8)	5.2 (26.4)	6.6 (33.6)	2.0 (10.1)	4.3 (23.2)	5.9 (29.3)	8.5 (41.3)	13.4 (68.8)	16.2 (93.1)	13.5 (75.9)	27.5 (120.4)			
Garçons	122	6.0	99.2	0.8		<LOQ-26.8 (<6.0-139.7)	8.1 (38.7)	7.2 (34.9)	9.0 (43.0)	2.9 (15.7)	5.5 (27.5)	8.6 (39.6)	12.2 (56.6)	16.4 (76.3)	19.6 (93.6)	17.5 (78.4)	25.1 (124.8)			

Tableau 1c suite

PCB-153																				
	N TOT	LOQ ng/l	N>LOQ %	N<LOQ %	Mann-Whitney p-value	min-max ng/g lip (ng/l)	Moyenne géométrique ng/g lip (ng/l)			P5 ng/g lip (ng/l)	P25 ng/g lip (ng/l)	P50 ng/g lip (ng/l)	P75 ng/g lip (ng/l)	P90 ng/g lip (ng/l)	P95 ng/g lip (ng/l)	P95 ng/g lip. (ng/l)		RV ₉₅ ng/g lip (ng/l)	z-test p-value	
							Moyenne	95%CI inf.	95%CI sup.							95%CI inf.	95%CI sup.			
Adolescents (12-19 ans)																				
	276	70	60.9	39.1			14.82 (70)	<LOQ (<70)	16.11 (80)	<LOQ (<70)	<LOQ (<70)	16.35 (90)	26.67 (120)	36.02 (160)	44.64 (210)	37.01 (180)	53.96 (240)	44 (210)		
Genre					0.0082															0.9137
Filles	137	70.0	55.5	44.5		<LOQ-54.0 (<70-405)	<LOQ (<70)	-	-	<LOQ (<70)	<LOQ (<70)	12.9 (79)	21.5 (107)	31.4 (157)	37.3 (191)	32.2 (161)	53.8 (226)			
Garçons	139	70.0	66.2	33.8		<LOQ-26.8 (<70-326)	16.9 (82)	15.0 (73)	19.1 (91)	<LOQ (<70)	<LOQ (<70)	19.4 (95)	30.8 (136)	37.1 (182)	47.5 (224)	37.8 (184)	66.4 (298)			
PCB-180																				
	N TOT	LOQ ng/l	N>LOQ %	N<LOQ %	Mann-Whitney p-value	min-max ng/g lip (ng/l)	Moyenne géométrique ng/g lip (ng/l)			P5 ng/g lip (ng/l)	P25 ng/g lip (ng/l)	P50 ng/g lip (ng/l)	P75 ng/g lip (ng/l)	P90 ng/g lip (ng/l)	P95 ng/g lip (ng/l)	P95 ng/g lip. (ng/l)		RV ₉₅ ng/g lip (ng/l)	z-test p-value	
							Moyenne	95%CI inf.	95%CI sup.							95%CI inf.	95%CI sup.			
Adolescents (12-19 ans)																				
	276	50	53.6	46.4			9.99 (50)		10.94 (54)	<LOQ (<50)	<LOQ (<50)	9.89 (50)	19.53 (90)	27.54 (130)	34.26 (150)	30.12 (140)	40.17 (200)	34 (150)		
Somme PCBs (2x[PCB-138 + PCB153 + PCB180])																				
	N TOT	LOQ ng/l	N>LOQ %	N<LOQ %	Mann-Whitney p-value	min-max ng/g lip (ng/l)	Moyenne géométrique ng/g lip (ng/l)			P5 ng/g lip (ng/l)	P25 ng/g lip (ng/l)	P50 ng/g lip (ng/l)	P75 ng/g lip (ng/l)	P90 ng/g lip (ng/l)	P95 ng/g lip (ng/l)	P95 ng/g lip. (ng/l)		RV ₉₅ ng/g lip (ng/l)	z-test p-value	
							Moyenne	95%CI inf.	95%CI sup.							95%CI inf.	95%CI sup.			
Adolescents (12-19 ans)																				
	246	-	-	-		9.3 - 376.7 (47.3-2187)	47.1 (231.7)	43.3 (213.7)	51.2 (251.2)	18.2 (84.7)	28.9 (146.7)	46.2 (227.4)	73.1 (358.3)	114.9 (548.5)	149.8 (658.3)	129.6 (605.8)	181.0 (875.4)	140 (650)		
Genre					0.0005															0.9262
Filles	124	-	-	-		9.3 - 376.7 (47.3-2187)	39.6 (203.0)	35.3 (180.9)	44.5 (227.8)	14.2 (80.6)	25.1 (132.5)	38.0 (193.8)	60.5 (306.8)	84.4 (422.5)	128.0 (625.4)	90.3 (429.6)	187.2 (875.4)			
Garçons	122	-	-	-		10.8-227.1 (61.7-1128)	55.4 (265.1)	49.4 (237.9)	62.1 (295.4)	19.0 (116.5)	33.9 (174.6)	55.6 (266.1)	89.0 (399.9)	133.0 (593.0)	151.5 (684.8)	142.7 (605.8)	192.7 (1002)			

La différence entre les catégories (M-W) est considérée comme significative pour p<0.05
 La différence entre les RV95 (z-test) est considérée comme significative pour p<0.001

4.1. Les PFAS dans le sang des adolescents, adultes et nouveau-nés (sang de cordon)

Parmi les 7 PFAS recherchés, le PFHxA et le PFHpA n'ont respectivement jamais ou seulement sporadiquement (autour de 5%) été retrouvés, tandis que les autres PFAS ont été quantifiés dans plus de 95% des échantillons de sang des adolescents et adultes (79% pour le PFDA), et dans une grande majorité des sangs de cordon (51 à 81% des échantillons, sauf le PFDA dans 22.5%). Dans les prélèvements des adolescents et adultes, c'est le PFOS suivi du PFOA qui contribuent le plus au taux d'imprégnation de l'ensemble des PFAS mesurés (46% et 29% respectivement) tandis que dans les sangs de cordon, c'est le PFOA (44%) suivi du PFOS (32%). Le PFHxS est le 3^{ème} PFAS mesuré en plus grande concentration (pour 13% du total des PFAS) suivi par le PFNA (8%) dans les prélèvements des adolescents, adultes et sangs de cordon. Ces différentes contributions à la contamination médiane en PFAS sont représentées dans la Figure 1.

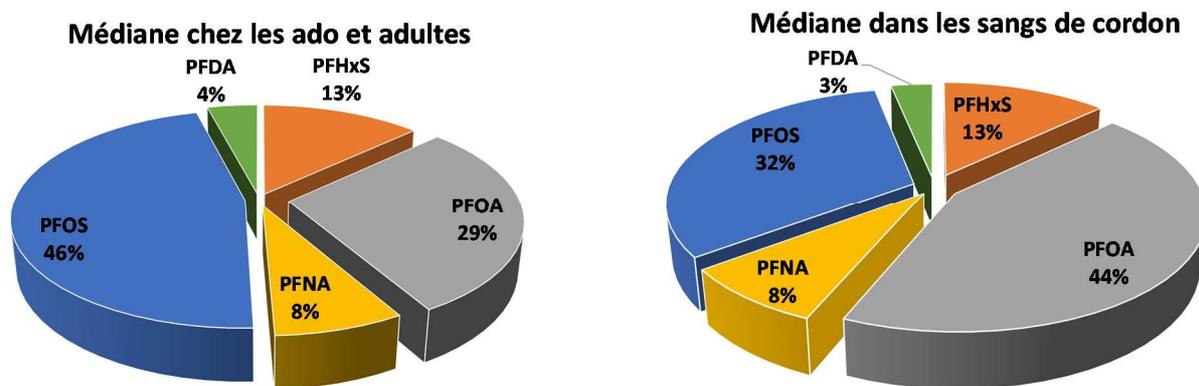


Figure 1: Contribution (des concentrations médianes) des différents PFAS à la contamination totale dans les prélèvements des adolescents et adultes d'une part, et dans les sangs de cordon d'autre part.

Les concentrations mesurées sont entre 2 et 3 fois moins hautes dans les sangs de cordon que dans les prélèvements des adolescents et adultes. On observe des concentrations sériques significativement plus élevées chez les adultes que chez les adolescents pour le PFNA ($p < 0.0001$), le PFHxS ($p < 0.0001$), et le PFOS ($p = 0.0211$). Des concentrations en PFOA ($p < 0.0001$), PFNA ($p = 0.0313$), et PFHxS ($p < 0.0001$) significativement inférieures ont été observées chez femmes par rapport aux hommes. D'autre part, les z-tests à une proportion n'ont mis en évidence aucune différence significative entre les P95 de ces sous-groupes (adolescents vs adultes, femmes vs hommes), ne nécessitant dès lors pas l'établissement de RV₉₅ spécifiques en fonction du sexe ou de la catégorie d'âge.

4.2. Les PBDEs dans le sang des adolescents et adultes

Les concentrations en PBDEs mesurées dans le sang des adolescents et adultes wallons sont dans l'ensemble très faibles. Le PBDE-28, -154 et -183 n'ont été retrouvés dans aucun des

prélèvements (selon la sensibilité de la technique analytique utilisée), tandis que le PBDE-99 et -100 ont été mesurés à une concentration supérieure à la LOQ dans 5 et 1 échantillons respectivement, soit dans 1 et 0.2% des 519 échantillons. Les 2 PBDEs les plus abondants sont les PBDE-47 et 153, avec un taux de détection de 29% et 22% respectivement et une valeur de P95 de 9.8 ng/L (1.9 ng/g lip) pour le PBDE-47 et 9.2 ng/L (1.7 ng/g lip) pour le PBDE-153. Malgré les faibles taux de détection, il semblerait que les adolescents soient statistiquement moins contaminés pour ces 2 PBDEs que les adultes ($p = 0.0085$ pour le PBDE-47 ; $p < 0.0001$ pour le PBDE-153). Le z-test à une proportion a mis en évidence une différence significative entre les P95 des adolescents et des adultes pour le PBDE-153 uniquement ($p < 0.0001$), mais les valeurs chiffrées étant très proches d'un point de vue analytique (1.3 et 1.9 ng/g lip respectivement), seule la RV_{95} pour l'ensemble des adolescents et adultes a été retenue. Il n'y aurait pas de différence significative entre les concentrations mesurées chez les femmes et chez les hommes ($p = 0.3552$ et $p = 0.0900$ pour le PBDE-47 et -153).

Même lorsque détectées positivement, les concentrations mesurées sont à peine supérieures à la LOQ, et donc dans une gamme de concentrations où l'incertitude de mesure est importante. Les valeurs brutes chiffrées sont donc à considérer avec prudence.

4.3. Les PCBs indicateurs dans le sang des adolescents

Afin de limiter le nombre de PCBs à doser dans le cadre de biomonitoring humain, seuls certains congénères hors des 209 possibles sont le plus souvent mesurés dans le sang. Il s'agit des PCBs dits « indicateurs » qui regroupent les PCB-28, -52, -101, -118, -138, -153, et -180. Plusieurs études ont démontré que approximativement 50% de l'imprégnation en PCBs chez les Hommes étaient causés par les PCB-138, -153 et -180. Dès lors, la somme des PCBs totaux est souvent estimée en multipliant par 2 la somme de ces 3 PCBs :

$$PCBs_{tot} = 2 \times \sum(PCB-138, -153, -180) \text{ (Kraft et al., 2017 ;)}$$

Certains PCBs (-118, -138, -153, -180) ont été dosés dans le cadre de BMH-WAL-I en 2020 dans une méthode multi-analytes incluant également 16 métabolites de pesticides organochlorés. Les résultats ont été décrits dans un précédent rapport (Programme de Biomonitoring Humain wallon – BMH-WAL : valeurs de référence. Résultats des dosages des marqueurs urinaires de bisphénols, d'Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAPs), de pesticides pyréthrinoïdes et organophosphorés, du glyphosate, du mercure ; et des PCBs et pesticides organochlorés sanguins). Une technique analytique uniquement dédiée pour les PCBs indicateurs a été développée dans un second temps afin d'y ajouter les PCB-28, -52, et -101 qui n'étaient pas initialement dosés, et d'augmenter la sensibilité de la technique initiale pour pouvoir mesurer les PCBs présents en plus faibles concentrations dans les échantillons (PCB-118 et -138). Les limites de quantification sont passées de valeurs allant de 50 à 170 ng/L dans l'ancienne méthode multi-analytes à des valeurs de 5 à 18 ng/L dans la nouvelle méthode, suivant le PCB considéré. Cette nouvelle technique a été utilisée sur les échantillons de sérum des adolescents pour lesquels un volume suffisant était toujours disponible (soit 246 échantillon

sur les 276 collectés). Pour les PCB-153 et -180 qui avaient déjà été quantifiés dans un grand nombre d'échantillons, les valeurs rapportées dans le tableau 1c correspondent aux résultats obtenus initialement (et donc pour les 276 échantillons). Pour les PCB-28, -52, -101 qui ont été ajoutés, et -118 et -138 pour lesquels un faible pourcentage de quantification avait été observé, les valeurs obtenues avec la nouvelle méthode sont présentés dans le tableau 1c, ainsi que les PCBs totaux (estimés par la somme des PCB-138, -153, -180 multiplié par 2).

Les PCB-52 et -101 ont été détectés dans un très petit nombre d'échantillons, ne permettant pas l'obtention de statistiques descriptives. Le PCB-28 a pu être mesuré à une concentration supérieure à la LOQ (18 ng/L) dans 10% des échantillons, avec une valeur de P95 de 4.6 ng/g lipide (27.2 ng/L). Grâce à au gain de sensibilité de la technique analytique, les PCB-118 et -138 sont maintenant quantifiés dans respectivement 89% et 98% des prélèvements (P50 = 2.3 et 7 ng/g lipide, P95 = 5.0 et 19.1 ng/g lipide respectivement pour les PCB-118 et 138). Une différence significative a été mise en évidence entre les concentrations mesurées chez les filles et les garçons pour le PCB-138 ($p = 0.0005$) et le PCB-153 ($p = 0.0082$), ainsi que pour la somme des PCBs totaux ($p = 0.0005$), les filles présentant des concentrations sériques médianes entre 1.5 et 2 fois plus faibles que les garçons lorsqu'exprimées en ng/g lipide. Néanmoins, les P95 calculées ne sont pas significativement différentes entre les sexes ($p = 0.7085$; 0.9137 ; et 0.9262 pour respectivement les PCBs-138, -153, et PCBs_{tot}).

5. COMPARAISON AVEC D'AUTRES ÉTUDES NATIONALES ET INTERNATIONALES POUR LES ANALYSES COMPLÉMENTAIRES DANS LE SANG: PFAS, PBDES ET PCBs

Les valeurs obtenues dans la population wallonne ont été comparées aux résultats mesurés dans d'autres populations semblables (adolescents, adultes et nouveau-nés quand cela était pertinent) de pays ou régions si possible proches géographiquement, rapportés par des études comprenant un nombre de participants important. Ces résultats (moyenne géométrique=MG, P50, et P95) ainsi que le nombre de participants et la période durant laquelle l'étude a été réalisée (années) sont présentés dans un tableau pour chaque marqueur (Tableaux 2 à 4).

5.1. Les PFAS

Si jusque dans les années 2000', les niveaux de contamination en PFAS de la population générale étaient bien documentés dans toutes les régions du monde, des études plus récentes sont plus rarement publiées dans la littérature. Dans le cadre du projet européen HBM4EU, les données récentes (entre 2007 et 2021) de biomonitoring en Europe ont été rassemblées dans un « tableau de bord » (dashboard) pour une série de substances, dont les PFAS pour lesquels les concentrations sériques chez les adolescents ont été prioritairement ciblées. Ces données montrent clairement une diminution des concentrations entre 2006 et 2021, liées aux différentes restrictions de production et d'utilisation des PFAS en Europe (Berg et al., 2014 ; Glynn et al., 2012 ; Schoeters et al., 2017 ; Schröter-Kermani et al., 2013 ; Yeung et al., 2013). Dès lors, seules les études les plus récentes (après 2015) seront reprises dans les

tableaux ci-dessous. Les concentrations sériques mesurées dans la population wallonne sont comparées pour chaque PFAS pris individuellement dans le tableau 2. Les concentrations des différents PFAS mesurés suivant les mêmes tendances, les résultats sont discutés globalement.

Tableau 2 : Concentrations en PFAS mesurées dans différentes études

PFHxA					
	N TOT	Années	MG	P50	P95
			µg/l	µg/l	µg/l
HBM-WAL					
Tous	532	2019-2020	<0.10	<0.10	<0.10
Sang de cordon	271	2019-2020	<0.10	<0.10	<0.10
Belgique (Liège), Pirard et al., 2020; Dufour et al., 2018					
Adultes (18-76 ans)	242	2015		<0.1	<0.1
Sang cordon	214	2013-2016		<0.1	
Belgique (Flandres), Schoeters et al., 2022					
Adolescents (14-15 ans)	410	2017-2018		<0.2	<0.2
Norway, Papadopoulou et al., 2022					
Adultes (24-72 ans)	127	2016-2017		<0.15	<0.15
Sang cordon	274	2010-2013		<0.15	
Grèce, CROME, data from HBM4EU dashboard					
Adolescents (12–18 ans)	52	2020-2021		0.130	0.21
France (ESTEBAN), data from HBM4EU dashboard; Oleko et al., 2019					
Adolescents (12–17 ans)	143	2014-2016		<0.2	<0.2
Adultes (18–74 ans)	744	2014-2016	<0.2	<0.2	<0.2
Espagne (BIOAMBIENT.ES), HBM4EU dashboard					
Adolescents (13–17 ans)	299	2017-2018		<0.2	<0.2
Slovakia, HBM4EU dashboard					
Adolescents (15–17 ans)	292	2019-2020		0.07	0.14
Slovénie, HBM4EU dashboard					
Adolescents (12–15 ans)	94	2018		<0.04	0.07
Tchèque, HBM4EU dashboard					
Adultes et enfants (12->60 ans)	395	2018-2019		<0.009	0.04
USA (NHANES), CDC 2019					
Tous	1672	2017-2018	<0.1	<0.1	<0.1
Adolescents (12-19 ans)	268	2017-2018	<0.1	<0.1	<0.1
Adultes (>20 ans)	1404	2017-2018	<0.1	<0.1	<0.1

Tableau 2 : Suite

PFHpA					
	N TOT	Années	MG	P50	P95
			µg/l	µg/l	µg/l
HBM-WAL					
Tous	532	2019-2020	<0.10	<0.10	0.11
Sang de cordon	271	2019-2020	<0.10	<0.10	<0.10
Belgique (Liège), Pirard et al., 2020; Dufour et al., 2018					
Adultes (18-76 ans)	242	2015		<0.1	0.11
Sang cordon	214	2013-2016		<0.1	
Belgique (Flandres), Schoeters et al., 2022					
Adolescents (14-15 ans)	410	2017-2018		<0.2	<0.2
Norway, Papadopoulou et al., 2022					
Adultes (24-72 ans)	127	2016-2017		0.18	0.41
Sang cordon	274	2010-2013		0.09	
Italie, Ingelido et al., 2018					
Adultes (20-51 ans)	250	2014-2016?		<0.05	0.13
Grèce, CROME, data from HBM4EU dashboard					
Adolescents (12–18 ans)	52	2020-2021		<0.3	<0.3
France (ESTEBAN), data from HBM4EU dashboard; Oleko et al., 2019					
Adolescents (12–17 ans)	143	2014-2016		<0.2	<0.2
Adultes (18–74 ans)	744	2014-2016	<0.2	<0.2	<0.2
Espagne (BIOAMBIENT.ES), HBM4EU dashboard					
Adolescents (13–17 ans)	299	2017-2018		<0.2	<0.2
Slovakia, HBM4EU dashboard					
Adolescents (15–17 ans)	292	2019-2020		0.03	0.11
Slovénie, HBM4EU dashboard					
Adolescents (12–15 ans)	94	2018		0.04	0.09
Tchèque, HBM4EU dashboard					
Adultes et enfants (12->60 ans)	395	2018-2019		<0.009	0.06

Tableau 2 : Suite

PFOA					
	N TOT	Années	MG µg/l	P50 µg/l	P95 µg/l
HBM-WAL					
Tous	532	2019-2020	1.08	1.12	2.04
Sang de cordon	271	2019-2020	0.63	0.68	1.33
Belgique (Liège), Pirard et al., 2020; Dufour et al., 2018					
Adultes (18-76 ans)	242	2015		1.91	4.72
Sang cordon	214	2013-2016		0.68	
Belgique (Flandres), Cornelis et al., 2012; Schoeters et al., 2022; Colles et al., 2020					
Adolescents (14-15 ans)	410	2017-2018	1.03	1.00	1.80
Sang cordon	269	2013-2014	1.19	1.27	
Sweden, Nyström et al., 2022					
Adolescents (11-18 ans)	1098	2016-2017		1.20	
Norway, Papadopoulou et al., 2022					
Adultes (24-72 ans)	127	2016-2017		1.58	3.49
Chine, Ping Zheng et al., 2022					
Sang cordon	60	2018		1.56	
Faroe Islands, Blomberg et al., 2021					
Sang cordon	459	2007-2009		0.90	
Italie, Ingelido et al., 2018					
Adultes (20-51 ans)	250	2014		1.64	3.95
Grèce (CROME), HBM4EU dashboard					
Adolescents (12-18 ans)	52	2020-2021		0.88	2.19
Allemagne, Goeckener et al., 2020					
Adultes (2-39 ans)	20	2019		1.86	3.06
France (ESTEBAN), data from HBM4EU dashboard; Oleko et al., 2019					
Adolescents (12-17 ans)	143	2014-2016		1.47	2.62
Adultes (18-74 ans)	744	2014-2016	2.08	2.12	5.26
Espagne (BIOAMBIENT.ES), HBM4EU dashboard					
Adolescents (13-17 ans)	299	2017-2018		0.66	1.03
Slovaquie, HBM4EU dashboard					
Adolescents (15-17 ans)	292	2019-2020		0.71	1.40
Slovaquie, Richterova et al., 2018					
Sang cordon	322	2010-2012	0.79	0.88	
Slovénie, HBM4EU dashboard					
Adolescents (12-15 ans)	94	2018		0.86	1.44
Tchèque, HBM4EU dashboard					
Adultes et enfants (12->60 ans)	395	2018-2019		1.48	3.19
Canada, CHMS cycle 6					
Adultes et enfants (3-79 ans)	2513	2018-2019	1.20	1.10	2.90
Adolescents (12-19 ans)	508	2018-2019	0.96	0.92	1.80
Adultes (20-39 ans)	330	2018-2019	1.00	1.00	2.80
USA (NHANES), CDC 2019					
Tous	1929	2017-2018	1.42	1.47	3.77
Adolescents (12-19 ans)	313	2017-2018	1.18	1.17	2.37
Adultes (>20 ans)	1616	2017-2018	1.45	1.47	3.87

Tableau 2 : Suite

PFNA					
	N TOT	Années	MG	P50	P95
			µg/l	µg/l	µg/l
HBM-WAL					
Tous	532	2019-2020	0.30	0.30	0.71
Adolescents	276	2019-2020	0.28	0.28	0.67
Adultes	256	2019-2020	0.32	0.35	0.74
Sang de cordon	271	2019-2020	0.12	0.13	0.30
Belgique (Liège), Pirard et al., 2020; Dufour et al., 2018					
Adultes (18-76 ans)	242	2015		0.54	1.41
Sang cordon	214	2013-2016		0.15	
Belgique (Flandres), Schoeters et al., 2022; Colles et al., 2020					
Adolescents (14-15 ans)	410	2017-2018	0.31	0.31	0.70
Sang cordon	269	2013-2014	0.20	0.21	
Sweden, Nyström et al., 2022					
Adolescents (11-18 ans)	1098	2016-2017		0.38	
Norway, Papadopoulou et al., 2022					
Adultes (24-72 ans)	127	2016-2017		0.78	1.86
Chine, Ping Zheng et al., 2022					
Sang cordon	60	2018		0.08	
Faroe Islands, Blomberg et al., 2021					
Sang cordon	459	2007-2009		0.32	
Italie, Gallo et al., 2022					
Adolescents (14-19 ans)	14888	2017	0.47	0.35	
Adolescentes (14-19 ans)	14888	2017	0.46	0.35	
Hommes (20-39 ans)	14888	2017	0.54	0.50	
Femmes (20-39 ans)	14888	2017	0.44	0.35	
Italie, Ingelido et al., 2018					
Adultes (20-51 ans)	250	2014-2016?		0.58	1.34
Grèce (CROME), HBM4EU dashboard					
Adolescents (12-18 ans)	52	2020-2021		0.42	0.84
Allemagne, Goeckener et al., 2020					
Adultes (2-39 ans)	20	2019		0.38	0.50
France (ESTEBAN), data from HBM4EU dashboard; Oleko et al., 2019					
Adolescents (12-17 ans)	143	2014-2016		0.54	1.38
Adultes (18-74 ans)	744	2014-2016	0.80	0.80	1.91
Espagne (BIOAMBIENT.ES), HBM4EU dashboard					
Adolescents (13-17 ans)	299	2017-2018		0.28	0.60
Slovakia, HBM4EU dashboard					
Adolescents (15-17 ans)	292	2019-2020		0.17	0.47
Slovakia, Richterova et al., 2018					
Sang cordon	322	2010-2012	0.20	0.24	
Slovénie, HBM4EU dashboard					
Adolescents (12-15 ans)	94	2018		0.25	0.51
Tchèque, HBM4EU dashboard					
Adultes et enfants (12->60 ans)	395	2018-2019		0.28	0.69
Canada, CHMS cycle 6					
Adultes et enfants (12-79 ans)	1457	2018-2019	0.44	0.41	1.20
Adolescents (12-19 ans)	474	2018-2019	0.34	0.34	0.90
Adultes (20-39 ans)	312	2018-2019	0.37	0.35	0.95
USA (NHANES), CDC 2019					
Tous	1929	2017-2018	0.41	0.40	1.40
Adolescents (12-19 ans)	313	2017-2018	0.35	0.40	1.20
Adultes (>20 ans)	1616	2017-2018	0.42	0.40	1.40

Tableau 2 : Suite

PFDA					
	N TOT	Années	MG	P50	P95
			µg/l	µg/l	µg/l
HBM-WAL					
Tous	532	2019-2020	0.15	0.16	0.43
Sang de cordon	271	2019-2020	<0.10	<0.10	0.15
Belgique (Liège), Pirard et al., 2020; Dufour et al., 2018					
Adultes (18-76 ans)	242	2015		0.29	0.82
Sang cordon	214	2013-2016		<0.15	
Belgique (Flandres), Schoeters et al., 2022					
Adolescents (14-15 ans)	410	2017-2018	<0.2	<0.2	0.49
Sweden, Nyström et al., 2022					
Adolescents (11-18 ans)	1098	2016-2017		0.16	
Norway, Papadopoulou et al., 2022					
Adultes (24-72 ans)	127	2016-2017		0.41	0.76
Chine, Ping Zheng et al., 2022					
Sang cordon	60	2018		0.17	
Faroe Islands, Blomberg et al., 2021					
Sang cordon	459	2007-2009		0.09	
Italie, Ingelido et al., 2018					
Adultes (20-51 ans)	250	2014-2016?		0.32	0.97
Grèce (CROME), HBM4EU dashboard					
Adolescents (12-18 ans)	52	2020-2021		0.17	0.40
Allemagne, Goeckener et al., 2020					
Adultes (2-39 ans)	20	2019		<0.25	0.38
France (ESTEBAN), data from HBM4EU dashboard; Oleko et al., 2019					
Adolescents (12-17 ans)	143	2014-2016		0.22	0.51
Adultes (18-74 ans)	744	2014-2016	0.34	0.32	0.78
Espagne (BIOAMBIENT.ES), HBM4EU dashboard					
Adolescents (13-17 ans)	299	2017-2018		<0.2	0.28
Slovaquie, HBM4EU dashboard					
Adolescents (15-17 ans)	292	2019-2020		0.05	0.17
Slovénie, HBM4EU dashboard					
Adolescents (12-15 ans)	94	2018		0.14	0.28
Tchèque, HBM4EU dashboard					
Adultes et enfants (12->60 ans)	395	2018-2019		0.14	0.43
Canada, CHMS cycle 6					
Adultes et enfants (12-79 ans)	1427	2018-2019	0.12	0.12	0.51
Adolescents (12-19 ans)	486	2018-2019	<0.092	<0.092	0.28
Adultes (20-39 ans)	298	2018-2019	0.11	0.11	0.39
USA (NHANES), CDC 2019					
Tous	1929	2017-2018	0.19	0.20	0.60
Adolescents (12-19 ans)	313	2017-2018	0.15	0.20	0.40
Adultes (>20 ans)	1616	2017-2018	0.20	0.20	0.60

Tableau 2 : Suite

PFHxS					
	N TOT	Années	MG	P50	P95
			µg/l	µg/l	µg/l
HBM-WAL					
Tous	532	2019-2020	0.54	0.51	1.69
Adolescents	276	2019-2020	0.51	0.45	1.92
Adultes	256	2019-2020	0.58	0.60	1.62
Sang de cordon	271	2019-2020	0.20	0.20	0.62
Belgique (Liège), Pirard et al., 2020; Dufour et al., 2018					
Adultes (18-76 ans)	242	2015		1.07	2.73
Sang cordon	214	2013-2016		0.16	
Belgique (Flandres), Schoeters et al., 2022; Colles et al., 2020					
Adolescents (14-15 ans)	410	2017-2018	0.48	0.48	1.30
Sang cordon	269	2013-2014	0.34	0.37	0.74 p90
Sweden, Nyström et al., 2022					
Adolescents (11-18 ans)	1098	2016-2017		0.40	
Norway, Papadopoulou et al., 2022					
Adultes (24-72 ans)	127	2016-2017		0.77	2.33
Chine, Ping Zheng et al., 2022					
Sang cordon	60	2018		0.248	
Faroe Islands, Blomberg et al., 2021					
Sang cordon	459	2007-2009		0.17	
Italie, Gallo et al., 2022 contaminated water Veneto					
Adolescents (14-19 ans)	14888	2017	3.21	3.40	
Adolescentes (14-19 ans)	14888	2017	2.23	2.40	
Hommes (20-39 ans)	14888	2017	5.85	6.50	
Femmes (20-39 ans)	14888	2017	2.15	2.20	
Italie, Ingelido et al., 2018					
Adultes (20-51 ans)	250	2014-2016?		2.49	6.04
Grèce (CROME), HBM4EU dashboard					
Adolescents (12-18 ans)	52	2020-2021		0.28	0.89
Allemagne, Goeckener et al., 2020					
Adultes (2-39 ans)	20	2019		0.53	1.14
France (ESTEBAN), data from HBM4EU dashboard; Oleko et al., 2019					
Adolescents (12-17 ans)	143	2014-2016		0.68	2.32
Adultes (18-74 ans)	744	2014-2016	1.37	1.48	3.42
Espagne (BIOAMBIENT.ES), HBM4EU dashboard					
Adolescents (13-17 ans)	299	2017-2018		<0.34	0.77
Slovaquie, HBM4EU dashboard					
Adolescents (15-17 ans)	292	2019-2020		0.29	0.99
Slovaquie, Richterova et al., 2018					
Sang cordon	322	2010-2012	0.07	0.08	
Slovénie, HBM4EU dashboard					
Adolescents (12-15 ans)	94	2018		0.23	0.43
Tchèque, HBM4EU dashboard					
Adultes et enfants (12->60 ans)	395	2018-2019		0.31	1.00
Canada, CHMS cycle 6					
Adultes et enfants (3-79 ans)	2514	2018-2019	0.76	0.72	4.00
Adolescents (12-19 ans)	508	2018-2019	0.53	0.50	1.80
Adultes (20-39 ans)	330	2018-2019	0.70	0.66	4.40
USA (NHANES), CDC 2019					
Tous	1929	2017-2018	1.08	1.10	3.70
Adolescents (12-19 ans)	313	2017-2018	0.87	0.80	3.40
Adultes (>20 ans)	1616	2017-2018	1.11	1.20	3.80

Tableau 2 : Suite

PFOS					
	N TOT	Années	MG	P50	P95
			µg/l	µg/l	µg/l
HBM-WAL					
Tous	532	2019-2020	1.82	1.82	6.62
Adolescents	276	2019-2020	1.75	1.66	6.80
Adultes	256	2019-2020	1.91	1.96	5.91
Sang de cordon	271	2019-2020	<0.50	<0.50	1.35
Belgique (Liège), Pirard et al., 2020; Dufour et al., 2018					
Adultes (18-76 ans)	242	2015		4.30	11.80
Sang cordon	214	2013-2016		0.73	
Belgique (Flanders), Schoeters et al., 2022; Colles et al., 2020					
Adolescents (14-15 ans)	410	2017-2018	2.16	2.10	7.30
Sang cordon	269	2013-2014	1.12	1.11	
Sweden, Nyström et al., 2022					
Adolescents (11-18 ans)	1098	2016-2017		2.00	
Norway, Papadopoulou et al., 2022					
Adultes (24-72 ans)	127	2016-2017		5.07	15.49
Chine, Ping Zheng et al., 2022					
Sang cordon	60	2018		0.248	
Faroe Islands, Blomberg et al., 2021					
Sang cordon	459	2007-2009		2.87	
Italie, Gallo et al., 2022					
Adolescents (14-19 ans)	6536	2017	3.67	3.60	
Adolescentes (14-19 ans)	6536	2017	3.01	3.00	
Hommes (20-39 ans)	6536	2017	4.75	4.80	
Femmes (20-39 ans)	6536	2017	2.95	3.00	
Italie, Ingelido et al., 2018					
Adultes (20-51 ans)	250	2014-2016?		5.84	20.63
Grèce (CROME), HBM4EU dashboard					
Adolescents (12-18 ans)	52	2020-2021		2.11	5.21
Allemagne, Goeckener et al., 2020					
Adultes (20-39 ans)	20	2019		1.82	3.60
France (ESTEBAN), data from HBM4EU dashboard; Oleko et al., 2019					
Adolescents (12-17 ans)	143	2014-2016		2.01	6.16
Adultes (18-74 ans)	744	2014-2016	4.03	4.23	13.54
Espagne (BIOAMBIENT.ES), HBM4EU dashboard					
Adolescents (13-17 ans)	299	2017-2018		1.34	3.07
Slovaquie, HBM4EU dashboard					
Adolescents (15-17 ans)	292	2019-2020		1.37	6.16
Slovaquie, Richterova et al., 2018					
Sang cordon	322	2010-2012	0.36	0.64	
Slovénie, HBM4EU dashboard					
Adolescents (12-15 ans)	94	2018		1.65	5.82
Tchèque, HBM4EU dashboard					
Adultes et enfants (12->60 ans)	395	2018-2019		2.74	12.94
Canada, CHMS cycle 6					
Adultes et enfants (3-79 ans)	2514	2018-2019	2.50	2.50	8.30
Adolescents (12-19 ans)	508	2018-2019	1.60	1.50	3.60
Adultes (20-39 ans)	330	2018-2019	2.30	2.20	6.20
USA (NHANES), CDC 2019					
Tous	1929	2017-2018	2.94	3.00	10.40
Adolescents (12-19 ans)	313	2017-2018	2.68	2.50	7.30
Adultes (>20 ans)	1616	2017-2018	4.50	4.70	15.10

Conclusion :

Le profil de PFAS observé dans le sang des adultes et adolescents wallons est similaire au profil rapporté dans les autres études, avec le PFOS mesuré en plus grande quantité, suivi par le PFOA et dans une moindre mesure le PFHxS. Comme dans la plupart des études, le PFHxA et le PFHpA n'ont été détectés dans aucun ou dans un très faible nombre d'échantillons. Les concentrations sériques en PFAS des wallons sont approximativement 2 fois plus basses que celles mesurées 5 ans plus tôt en population liégeoise, confirmant le déclin progressif de l'exposition à ces substances en population européenne ces 10 dernières années. Elles sont également plus basses que les concentrations observées dans le sang des adolescents et adultes français également recrutés 4 à 6 ans plus tôt. Elles sont comparables aux taux sériques mesurés chez des adolescents flamands entre 2017 et 2018, suédois entre 2016 et 2017, et grecs entre 2020 et 2021, mais plus basses que dans d'autres pays comme la Norvège, l'Italie, la Tchéquie pour une période similaire de recrutement. L'exposition de la population adulte allemande semble également comparable sauf pour le PFOA pour lequel la concentration médiane et la P95 rapportés sont étrangement 1,5 fois plus élevées. D'autre part, les adolescents espagnols semblent moins exposés que le reste des européens avec des P95 environ 2 fois plus basses que pour les adolescents wallons (3.1 µg/L en Espagne pour 6.6 µg/L en Wallonie pour le PFOS ; et 1 µg/L pour 2 µg/L en Wallonie pour le PFOA). Comparées aux 2 grands programmes de biomonitoring humain d'Outre-Atlantique (NHANES aux USA et CHMS au Canada), les concentrations de PFAS en population wallonne semblent du même ordre de grandeur.

Peu d'études récentes ont rapporté la contamination en PFAS dans du sang de cordon. S'il n'y a que peu de différences entre les mesures réalisées au niveau wallon en 2019-2020 et au niveau liégeois sur des sangs de cordon collectés en 2013-2016, les concentrations mesurées chez des nouveau-nés flamands sont presque 2 fois supérieures pour la plupart des PFAS, ce qui avait déjà été observé antérieurement (Dufour et al., 2018), mais la période de recrutement plus éloignée (2013-2014) pourrait expliquer au moins en partie cette différence.

Pour plusieurs PFAS (PFHpA, PFNA, PFHxS, PFOS), les adolescents sont significativement moins contaminés que les adultes (entre 15 et 30% de moins). Cette augmentation de la concentration sérique avec l'âge a déjà été rapportée dans de nombreuses études (Bjermo et al., 2013; Ingelido et al., 2010; Pirard et al., 2020). Les concentrations en PFHxS, PFOA, et PFNA sont également significativement plus basses chez les femmes vs les hommes, ce qui est cohérent avec les résultats de nombreuses études (Bartolomé et al., 2017 ; Bjermo et al., 2013; Ingelido et al., 2010; Pirard et al., 2020 ; Schoeters et al., 2022). Les raisons avancées pour expliquer cette différence de contamination selon le sexe sont l'allaitement et les menstruations qui seraient une voie d'élimination additionnelle pour les femmes (Bjermo et al., 2013; Pirard et al., 2020). Le fait que cette différence entre les sexes soit également significative pour les adolescent(e)s confirme l'hypothèse de l'excrétion des PFAS par les menstruations, à moins que d'autres facteurs comme les habitudes alimentaires, la quantité

d'aliments ingérés, ou le métabolisme, qui peuvent différer selon le sexe, ne jouent également un rôle.

5.2. Les PBDEs

Il existe peu de données de concentrations en PBDEs dans le sang en population générale non exposée professionnellement. Ceci est probablement lié à la difficulté analytique de doser ces substances, tant les concentrations sériques à atteindre sont faibles et les contaminations externes difficiles à maîtriser. De plus, à l'instar des autres Polluants Organiques Persistants comme les pesticides organochlorés ou les PCBs qui sont strictement réglementés depuis plusieurs décennies (début des années 2000 pour les PBDEs), les niveaux d'imprégnation de la population européenne et nord-américaine diminuent dans le temps (Sjodin et al., 2019), réduisant le nombre d'études disponibles et pertinentes pour comparaison. Dans le tableau ci-dessous (tableau 3) sont reprises les études réalisées après 2010 en Europe ou en Amérique du Nord (programme de biomonitoring américain NHANES et canadien CMHS). Les concentrations mesurées sont exprimées en ng/g lipide, mais la plupart des LOQ sont exprimées en ng/L ce qui peut compliquer les comparaisons.

Tableau 3 : Concentrations en PBDEs mesurées dans différentes études

PBDE-28					
	N TOT	Années	MG	P50	P95
HBM-WAL					
Tous	519	2019-2020	<5 ng/L	<5 ng/L	<5 ng/L
Belgique (Flandre), Schoeters et al., 2022					
Adolescents (14-15 ans)	415	2017-2018	<1ng/L	<1ng/L	<1ng/L
Belgique (Flandre), HBM4EU dashboard					
Adultes (>40 ans)	206	2014			<2 ng/L
Tchèquie, Sochorova et al. 2017					
Adultes et enfants (12->60 ans)	300	2015			<5 ng/L
France, Poteau et al., 2017					
Femmes (18-45 ans)	44	2013-2015		0.03 ng/g lip	
France (ESTEBAN), Fillol et al., 2019					
Adultes (18-74 ans)	742	2014-2016		<0.2 ng/L	0.09 ng/g lip
Allemagne, Fromme et al., 2016					
Adultes (20-68 ans)	42	2013		<LOQ	
Suède, Bjeremo et al., 2017					
Adultes (18-80 ans)	170	2010-2011		0.028 ng/g lip	0.23 ng/g lip
Greenland, Wielsoe et al., 2022					
Adultes (>18 ans)	177	2019-2020		1 ng/g lip	
USA (NHANES)					
Filles (12-19 ans)	40	2015-2016	0.58 ng/g lip		
Garçons (12-19 ans)	56	2015-2016	0.63 ng/g lip		
Femmes (20-39 ans)	88	2015-2016	0.56 ng/g lip		
Hommes (20-39 ans)	80	2015-2016	0.74 ng/g lip		
Nouvelle zélande, Coakley et al., 2018					
Adultes (19-64 ans)	734	2011-2012	0.12 ng/g lip		
Corée du Sud (KNEHS), Jeon et al., 2021					
Adultes	1295	2015-2017		<0.35 ng/g lip	1.87 ng/g lip

Tableau 3 : suite

PBDE-47					
	N TOT	Années	MG	P50	P95
HBM-WAL					
Tous	519	2019-2020	< 5ng/L	< 5ng/L	1.9 ng/g lip 9.8 ng/L
Adolescents	268	2019-2020	< 5ng/L	< 5ng/L	2.1 ng/g lip 10.1 ng/L
Adultes	251	2019-2020	< 5ng/L	< 5ng/L	1.8 ng/g lip 9.7 ng/L
Belgique (Flandre), Schoeters et al., 2022					
Adolescents (14-15 ans)	415	2017-2018	< 1 ng/L	< 1 ng/L	1.20 ng/g lip
Belgique (Flandre), HBM4EU dashboard					
Adultes (>40 ans)	206	2014		0.4 ng/g lip 2 ng/L	1.3 ng/g lip 8 ng/L
Tchèquie, Sochorova et al. 2017					
Adultes et enfants (12->60 ans)	300	2015			<4 ng/L
France, Ploteau et al., 2017					
Femmes (18-45 ans)	44	2013-2015		0.32 ng/g lip	
France (ESTEBAN), Fillol et al., 2019					
Adultes (18-74 ans)	742	2014-2016		0.22 ng/g lip	1.06 ng/g lip
Allemagne, Fromme et al., 2016					
Adultes (20-68 ans)	42	2013		0.08 ng/g lip	0.47 ng/g lip
Suède, Bjermo et al., 2017					
Adultes (18-80 ans)	170	2010-2011		0.49 ng/g lip	3.4 ng/g lip
Suède, Zamaratskaia et al., 2022					
Adolescents (12-18 ans)	1096	2016-2017			9.6 ng/L
Norvège, Tay et al., 2019					
Adultes (20-66 ans)	66	2013		0.23 ng/g lip	
Greenland, Wielsoe et al., 2022					
Adultes (>18 ans)	177	2019-2020		1.95 ng/g lip	
USA (NHANES)					
Filles (12-19 ans)	40	2015-2016	12.4 ng/g lip		
Garçons (12-19 ans)	56	2015-2016	16.9 ng/g lip		
Femmes (20-39 ans)	88	2015-2016	11.7 ng/g lip		
Hommes (20-39 ans)	80	2015-2016	14.6 ng/g lip		
USA (Californie), Hurley et al., 2017					
Femmes (40-94 ans)	1253	2011-2015		13.3 ng/g lip	
Canada (CHMS)					
Adolescents (12-19 ans)	~1200	2016-2017	13 ng/g lip 49 ng/L		
Adultes (20-39 ans)	~1300	2016-2017	15 ng/g lip 64 ng/L		
Nouvelle zélande, Coakley et al., 2018					
Adultes (19-64 ans)	734	2011-2012	2 ng/g lip		
Corée du Sud (KNEHS), Jeon et al., 2021					
Adultes	1295	2015-2017		<0.59 ng/g lip	4.80 ng/g lip

Tableau 3 : suite

PBDE-99					
	N TOT	Années	MG	P50	P95
HBM-WAL					
Tous	519	2019-2020	<5.3 ng/L	<5.3 ng/L	<5.3 ng/L
Belgique (Flandre), Schoeters et al., 2022					
Adolescents (14-15 ans)	415	2017-2018	< 1 ng/L	< 1 ng/L	1 ng/g lip
Belgique (Flandre), HBM4EU dashboard					
Adultes (>40 ans)	206	2014		<2 ng/L	2.1 ng/g lip 11.8 ng/L
Tchèque, Sochorova et al. 2017					
Adultes et enfants (12->60 ans)	300	2015			<4 ng/L
France, Poteau et al., 2017					
Femmes (18-45 ans)	44	2013-2015		0.09 ng/g lip	
France (ESTEBAN), Fillol et al., 2019					
Adultes (18-74 ans)	742	2014-2016		<0.2 ng/L	0.22 ng/g lip
Allemagne, Fromme et al., 2016					
Adultes (20-68 ans)	42	2013		0.12 ng/g lip	0.43 ng/g lip
Suède, Bjermo et al., 2017					
Adultes (18-80 ans)	170	2010-2011		0.29 ng/g lip	1.3 ng/g lip
Suède, Zamaratskaia et al., 2022					
Adolescents (12-18 ans)	1096	2016-2017			5.6 ng/L
Norvège, Tay et al., 2019					
Adultes (20-66 ans)	66	2013		<0.02 ng/g lip	
Nouvelle zélande, Coakley et al., 2018					
Adultes (19-64 ans)	734	2011-2012	0.66 ng/g lip		
USA (NHANES)					
Filles (12-19 ans)	40	2015-2016	2.38 ng/g lip		
Garçons (12-19 ans)	56	2015-2016	3.70 ng/g lip		
Femmes (20-39 ans)	88	2015-2016	2.33 ng/g lip		
Hommes (20-39 ans)	80	2015-2016	2.90 ng/g lip		
Canada (CHMS)					
Adolescents (12-19 ans)	~1200	2016-2017	2.7 ng/g lip 10 ng/L		
Adultes (20-39 ans)	~1300	2016-2017	4.1 ng/g lip 17 ng/L		
Corée du Sud (KNEHS), Jeon et al., 2021					
Adultes	1295	2015-2017		<0.61 ng/g lip	2.28 ng/g lip

Tableau 3 : suite

PBDE-100					
	N TOT	Années	MG	P50	P95
HBM-WAL					
Tous	519	2019-2020	<5 ng/L	<5 ng/L	<5 ng/L
Belgique (Flandre), Schoeters et al., 2022					
Adolescents (14-15 ans)	415	2017-2018	< 1 ng/L	< 1 ng/L	< 1 ng/L
Belgique (Flandre), HBM4EU dashboard					
Adultes (>40 ans)	206	2014			0.8 ng/g lip 5 ng/L
Tchèquie, Sochorova et al. 2017					
Adultes et enfants (12->60 ans)	300	2015			<5 ng/L
France, Poteau et al.I, 2017					
Femmes (18-45 ans)	44	2013-2015		0.12 ng/g lip	
France (ESTEBAN), Fillol et al., 2019					
Adultes (18-74 ans)	742	2014-2016		0.07 ng/g lip	0.26 ng/g lip
Allemagne, Fromme et al., 2016					
Adultes (20-68 ans)	42	2013		0.10 ng/g lip	0.54 ng/g lip
Suède, Bjermo et al., 2017					
Adultes (18-80 ans)	170	2010-2011		0.21 ng/g lip	0.93 ng/g lip
Norvège, Tay et al., 2019					
Adultes (20-66 ans)	66	2013		<0.16 ng/g lip	
Nouvelle zélande, Coakley et al., 2018					
Adultes (19-64 ans)	734	2011-2012	0.22 ng/g lip		
USA (Californie), Hurley et al., 2017					
Femmes (40-94 ans)	1253	2011-2015		2.31 ng/g lip	
USA (NHANES)					
Filles (12-19 ans)	40	2015-2016	2.34 ng/g lip		
Garçons (12-19 ans)	56	2015-2016	3.48 ng/g lip		
Femmes (20-39 ans)	88	2015-2016	2.29 ng/g lip		
Hommes (20-39 ans)	80	2015-2016	2.71 ng/g lip		
Canada (CHMS)					
Adolescents (12-19 ans)	~1200	2016-2017	2.4 ng/g lip 9 ng/L		
Adultes (20-39 ans)	~1300	2016-2017	3.3 ng/g lip 14 ng/L		
Corée du Sud (KNEHS), Jeon et al., 2021					
Adultes	1295	2015-2017		<0.72 ng/g lip	1.07 ng/g lip

Tableau 3 : suite

PBDE-153					
	N TOT	Années	MG	P50	P95
HBM-WAL					
Tous	519	2019-2020	<5 ng/L	<5 ng/L	1.7 ng/g lip 9.2 ng/L
Adolescents	268	2019-2020	< 5ng/L	< 5ng/L	1.3 ng/g lip 6.2 ng/L
Adultes	251	2019-2020	< 5ng/L	< 5ng/L	1.9 ng/g lip 9.9 ng/L
Belgique (Flandre), Schoeters et al., 2022					
Adolescents (14-15 ans)	415	2017-2018		<2 ng/L	0.90 ng/g lip
Belgique (Flandre), HBM4EU dashboard					
Adultes (>40 ans)	206	2014		1 ng/g lip 6 ng/L	2.5 ng/g lip 15 ng/L
Tchèquie, Sochorova et al. 2017					
Adultes et enfants (12->60 ans)	300	2015			8 ng/L
France, Poteau et al.I, 2017					
Femmes (18-45 ans)	44	2013-2015		1.07 ng/g lip	
France (ESTEBAN), Fillol et al., 2019					
Adultes (18-74 ans)	742	2014-2016		0.75 ng/g lip	2.05 ng/g lip
Allemagne, Fromme et al., 2016					
Adultes (20-68 ans)	42	2013		1.28 ng/g lip	4.54 ng/g lip
Suède, Bjerme et al., 2017					
Adultes (18-80 ans)	170	2010-2011		1.2 ng/g lip	3.4 ng/g lip
Suède, Zamaratskaia et al., 2022					
Adolescents (12-18 ans)	1096	2016-2017			5.2 ng/L
Norvège, Tay et al., 2019					
Adultes (20-66 ans)	66	2013		1.0 ng/g lip	
Nouvelle zélande, Coakley et al., 2018					
Adultes (19-64 ans)	734	2011-2012	1.2 ng/g lip		
USA (Californie), Hurley et al., 2017					
Femmes (40-94 ans)	1253	2011-2015		4.89 ng/g lip	
USA (NHANES)					
Filles (12-19 ans)	40	2015-2016	6.64 ng/g lip		
Garçons (12-19 ans)	56	2015-2016	10.2 ng/g lip		
Femmes (20-39 ans)	88	2015-2016	11.6 ng/g lip		
Hommes (20-39 ans)	80	2015-2016	10.7 ng/g lip		
Canada (CHMS)					
Adolescents (12-19 ans)	~1200	2016-2017	7.0 ng/g lip 26 ng/L		
Adultes (20-39 ans)	~1300	2016-2017	9.1 ng/g lip 41 ng/L		
Corée du Sud (KNEHS), Jeon et al., 2021					
Adultes	1295	2015-2017		<0.92 ng/g lip	7.16 ng/g lip

Tableau 3 : suite

PBDE-154					
	N TOT	Années	MG	P50	P95
HBM-WAL					
Tous	519	2019-2020	<6 ng/L	<6 ng/L	<6 ng/L
Belgique (Flandre), Schoeters et al., 2022					
Adolescents (14-15 ans)	415	2017-2018		<2 ng/L	0.90 ng/g lip
Belgique (Flandre), HBM4EU dashboard					
Adultes (>40 ans)	206	2014			<2 ng/L
Tchèque, Sochorova et al. 2017					
Adultes et enfants (12->60 ans)	300	2015			<5 ng/L
France, Poteau et al., 2017					
Femmes (18-45 ans)	44	2013-2015		0.03 ng/g lip	
France (ESTEBAN), Fillol et al., 2019					
Adultes (18-74 ans)	742	2014-2016		<0.6 ng/L	<0.6 ng/L
Allemagne, Fromme et al., 2016					
Adultes (20-68 ans)	42	2013		<LOQ	0.09 ng/g lip
Suède, Bjerme et al., 2017					
Adultes (18-80 ans)	170	2010-2011		0.28 ng/g lip	0.92 ng/g lip
Norvège, Tay et al., 2019					
Adultes (20-66 ans)	66	2013		<0.13 ng/g lip	
Nouvelle zélande, Coakley et al., 2018					
Adultes (19-64 ans)	734	2011-2012	0.08 ng/g lip		
USA (NHANES)					
Filles (12-19 ans)	40	2015-2016	<0.34 ng/g lip		
Garçons (12-19 ans)	56	2015-2016	<0.34 ng/g lip		
Femmes (20-39 ans)	88	2015-2016	<0.34 ng/g lip		
Hommes (20-39 ans)	80	2015-2016	<0.34 ng/g lip		
Corée du Sud (KNEHS), Jeon et al., 2021					
Adultes	1295	2015-2017		<0.74 ng/g lip	<0.74 ng/g lip

Tableau 3 : suite

PBDE-183					
	N TOT	Années	MG	P50	P95
HBM-WAL					
Tous	519	2019-2020	<6 ng/L	<6 ng/L	<6 ng/L
Belgique (Flandre), Schoeters et al., 2022					
Adolescents (14-15 ans)	415	2017-2018			<2 ng/L
Belgique (Flandre), HBM4EU dashboard					
Adultes (>40 ans)	206	2014			<2 ng/L
Tchèque, Sochorova et al. 2017					
Adultes et enfants (12->60 ans)	300	2015			<5 ng/L
France, Poteau et al., 2017					
Femmes (18-45 ans)	44	2013-2015		0.16 ng/g lip	
France (ESTEBAN), Fillol et al., 2019					
Adultes (18-74 ans)	742	2014-2016		<1.8 ng/L	0.41 ng/g lip
Allemagne, Fromme et al., 2016					
Adultes (20-68 ans)	42	2013		0.09 ng/g lip	0.51 ng/g lip
Allemagne, Fromme et al., 2016					
Adultes (20-68 ans)	42	2013		0.09 ng/g lip	0.51 ng/g lip
Suède, Bjermo et al., 2017					
Adultes (18-80 ans)	170	2010-2011		0.07 ng/g lip	0.21 ng/g lip
Nouvelle zélande, Coakley et al., 2018					
Adultes (19-64 ans)	734	2011-2012	0.22 ng/g lip		
USA (NHANES)					
Filles (12-19 ans)	40	2015-2016	<0.41 ng/g lip		
Garçons (12-19 ans)	56	2015-2016	<0.41 ng/g lip		
Femmes (20-39 ans)	88	2015-2016	<0.41 ng/g lip		
Hommes (20-39 ans)	80	2015-2016	<0.41 ng/g lip		

Conclusion :

Les résultats obtenus et ceux rapportés dans les autres études doivent être comparés avec prudence, entre autres car les techniques analytiques utilisées et leur sensibilité peuvent varier fortement (jusqu'à un ordre de grandeur). De plus, les matériaux de référence (servant de contrôles de qualité), et les matériaux utilisés dans les programmes d'enquête de comparaison interlaboratoire comme HBM4EU (Dvorakova et al., 2021) sont souvent contaminés à des niveaux bien plus élevés que ceux rencontrés en population générale actuelle questionnant la comparabilité des valeurs très basses mesurées dans les différentes études. Enfin, la formule utilisée pour l'évaluation de la quantité de lipides totaux dans le sérum peut varier d'une étude à l'autre (c'est notamment le cas dans l'étude ESTEBAN), ce qui peut impacter la conversion en ng/g lipide. Néanmoins, les concentrations mesurées en PBDEs dans le sang des adolescents et adultes wallons sont assez comparables aux concentrations observées en Flandres, ou ailleurs en Europe (France, Suède, Norvège, Allemagne), mais plus basses que les concentrations mesurées dans le sang d'adultes du Groenland considérés comme particulièrement exposés aux POPs via leur alimentation typique (composée de

mammifères et oiseaux marins d'Arctique, maillons de la chaîne alimentaire les plus contaminés). Par contre, la contamination en PBDEs des européens, et donc des wallons, semble bien plus basse que celle mesurée dans les populations nord-américaines (USA et Canada).

5.3. Les PCBs indicateurs

Peu d'études récentes ont été publiées sur les niveaux sériques de PCBs en population générale, et parmi celles-ci, seules quelques unes concernaient des adolescents. Le tableau 4 reprend ces données mais aussi les niveaux d'imprégnation mesurés chez des adultes lors d'études proches (temporellement et géographiquement) comme par exemple l'étude française ESTEBAN, même si les concentrations sériques mesurées chez les adultes seront difficilement comparables à la population d'adolescents wallons (ces polluants persistants sont connus pour s'accumuler dans l'organisme). Les valeurs de PCBs totaux sont aussi à comparer avec prudence car certaines études utilisent un facteur 1.7 à la place de 2 (Balestier et al., 2021). A noter également que la formule pour déterminer les lipides totaux sérique au départ des taux de triglycérides et de cholestérol peut également varier d'une étude à l'autre, influençant donc la conversion des concentrations rapportées au contenu lipidique.

Les dosages des PCB-28, -52, et -101 ont parfois été abandonnés dans les programmes de biomonitoring américains (NHANES) et canadiens (CHMS) car leur fréquence de détection dans les premiers cycles étaient très faibles.

Tableau 4 : Concentrations en PCBs indicateurs mesurées dans différentes études

PCB-28					
	N TOT	Années	MG	P50	P95
HBM-WAL					
Adolescents	246	2019-2020	<18 ng/L	<18 ng/L	4.6 ng/g lip 27.2 ng/L
Allemagne (GerES V), Bandow et al., 2020					
Enfants (3-17 ans)	1135	2014-2017	<300 ng/L	<300 ng/L	<300 ng/L
USA (NHANES)					
Filles ado (12-19 ans)	40	2015-2016	<LOQ		
Garçons ado (12-19 ans)	56	2015-2016	<LOQ		
PCB-52					
	N TOT	Années	MG	P50	P95
HBM-WAL					
Adolescents	246	2019-2020	<15 ng/L	<15 ng/L	<15 ng/L
France (ESTEBAN), Balestier et al., 2021					
Adultes (>18 ans)	604	2016-2017	0.3 ng/g lip 1.59 ng/L	0.2 ng/ g lip 1.46 ng/L	0.8 ng/g lip 4.92 ng/L
Allemagne (GerES V), Bandow et al., 2020					
Enfants (3-17 ans)	1135	2014-2017	<200 ng/L	<200 ng/L	<200 ng/L

Tableau 4 : suite

PCB-101					
	N TOT	Années	MG	P50	P95
HBM-WAL					
Adolescents	246	2019-2020	<15 ng/L	<15 ng/L	<15 ng/L
Allemagne (GerES V), Bandow et al., 2020					
Enfants (3-17 ans)	1135	2014-2017	<30 ng/L	<30 ng/L	8.86 ng/g lip 50 ng/L
France (ESTEBAN), Balestier et al., 2021					
Adultes (>18 ans)	604	2016-2017	0.3 ng/ g lip 2.01 ng/L	0.3 ng/g lip 1.88 ng/L	1.0 ng/g lip 6.23 ng/L
PCB-118					
	N TOT	Années	MG	P50	P95
HBM-WAL					
Adolescents	246	2019-2020	2.1 ng/g lip 10.4 ng/L	2.3 ng/g lip 11.5 ng/L	5.0 ng/g lip 24.8 ng/L
Suède, Zamaratskaia et al., 2022					
Adolescents (12-18 ans)	1096	2016-2017	6.7 ng/L	6.4 ng/L	17.0 ng/L
Allemagne (GerES V), Bandow et al., 2020					
Enfants (3-17 ans)	1135	2014-2017	<20 ng/L	<20 ng/L	6.63 ng/g lip 40 ng/L
Espagne, Porta et al., 2021					
Adultes (>18 ans)	240	2016		1.71 ng/g lip 10 ng/L	
France (ESTEBAN), Balestier et al., 2021					
Adultes (>18 ans)	604	2016-2017	8.7 ng/g lip 52.7 ng/L	8.5 ng/g lip 50.9 ng/L	31.7 ng/g lip 212.8 ng/L
Canada (CHMS)					
Adolescents (12-19 ans)	~1000	2016-2017	1.8 ng/g lip 7 ng/L		

Tableau 4 : suite

PCB-138					
	N TOT	Années	MG	P50	P95
HBM-WAL					
Adolescents	246	2019-2020	6.9 ng/g lip 33.9 ng/L	7.0 ng/g lip 34.0 ng/L	19.1 ng/g lip 94.4 ng/L
Filles ado	124	2019-2020	5.9 ng/g lip 29.8 ng/L	5.9 ng/g lip 29.3 ng/L	16.2 ng/g lip 93.1 ng/L
Garçons ado	122	2019-2020	8.1 ng/g lip 38.7 ng/L	8.6 ng/g lip 39.6 ng/L	19.6 ng/g lip 93.6 ng/L
Sweeden, Zamaratskaia et al., 2022					
Adolescents (12-18 ans)	1096	2016-2017	26 ng/L	27 ng/L	76 ng/L
Allemagne (GerES V), Bandow et al., 2020					
Enfants (3-17 ans)	1135	2014-2017	9.2 ng/g lip 66 ng/L	9.41 ng/g lip 20 ng/L	30.3 ng/g lip 130 ng/L
Espagne, Porta et al., 2021					
Adultes (>18 ans)	240	2016		40.1 ng/g lip 240 ng/L	
France (ESTEBAN), Balestier et al., 2021					
Adultes (>18 ans)	604	2016-2017	26.8 ng/g lip 162.8 ng/L	27.6 ng/g lip 173.9 ng/L	94.4 ng/g lip 624.4 ng/L
USA (NHANES)					
Filles ado (12-19 ans)	40	2015-2016	1.6 ng/g lip 8 ng/kg		
Garçons ado (12-19 ans)	56	2015-2016	7.2 ng/g lip 35 ng/kg		
Canada (CHMS)					
Adolescents (12-19 ans)	~1000	2016-2017	3.1 ng/g lip 12 ng/L		

Tableau 4 : suite

PCB-153					
	N TOT	Années	MG	P50	P95
HBM-WAL					
Adolescents	276	2019-2020	14.8 ng/g lip 70 ng/L	16.4 ng/g lip 90 ng/L	44.6 ng/g lip 210 ng/L
Filles ado	137	2019-2020	<LOQ <70 ng/L	12.9 ng/g lip 79 ng/L	37.3 ng/g lip 191 ng/L
Garçons ado	139	2019-2020	16.9 ng/g lip 82 ng/L	19.4 ng/g lip 95 ng/L	47.5 ng/g lip 224 ng/L
Sweeden, Zamaratskaia et al., 2022					
Adolescents (12-18 ans)	1096	2016-2017	43 ng/L	43 ng/L	129 ng/L
Allemagne (GerES V), Bandow et al., 2020					
Enfants (3-17 ans)	1135	2014-2017	12.5 ng/g lip 66 ng/L	13.1 ng/g lip 70 ng/L	47.5 ng/g lip 270 ng/L
Espagne, Porta et al., 2021					
Adultes (>18 ans)	240	2016		64.6 ng/g lip 380 ng/L	
France (ESTEBAN), Balestier et al., 2021					
Adultes (>18 ans)	604	2016-2017	66.1 ng/g lip 402.4 ng/L	72.6 ng/g lip 450.1 ng/L	221.9 ng/g lip 1443 ng/L
USA (NHANES)					
Filles ado (12-19 ans)	40	2015-2016	2.5 ng/g lip 12 ng/kg		
Garçons ado (12-19 ans)	56	2015-2016	7.0 ng/g lip 34 ng/kg		
Canada (CHMS)					
Adolescents (12-19 ans)+	~1000	2016-2017	5.5 ng/g lip 21 ng/L		

Tableau 4 : suite

PCB-180					
	N TOT	Années	MG	P50	P95
HBM-WAL					
Adolescents	276	2019-2020	10.0 ng/g lip 50 ng/L	9.9 ng/g lip 50 ng/L	34.3 ng/g lip 150 ng/L
Sweeden, Zamaratskaia et al., 2022					
Adolescents (12-18 ans)	1096	2016-2017	23 ng/L	24 ng/L	87 ng/L
Allemagne (GerES V), Bandow et al., 2020					
Enfants (3-17 ans)	1135	2014-2017	6.03 ng/g lip 32 ng/L	6.44 ng/g lip 30 ng/L	28.6 ng/g lip 160 ng/L
Espagne, Porta et al., 2021					
Adultes (<18 ans)	240	2016		64.6 ng/g lip 370 ng/L	
France (ESTEBAN), Balestier et al., 2021					
Adultes (>18 ans)	604	2016-2017	57.9 ng/g lip 352.3 ng/L	72.2 ng/g lip 452.4 ng/L	212.9 ng/g lip 1416 ng/L
USA (NHANES)					
Filles ado (12-19 ans)	40	2015-2016	1.4 ng/g lip 7 ng/kg		
Garçons ado (12-19 ans)	56	2015-2016	3.2 ng/g lip 15 ng/kg		
Canada (CHMS)					
Adolescents (12-19 ans)	~1000	2016-2017	3.1 ng/g lip 12 ng/L		
PCBs totaux (=2x[Somme 138, 153, 180])					
	N TOT	Années	MG	P50	P95
HBM-WAL					
Adolescents	246	2019-2020	47.1 ng/g lip 231.7 ng/L	46.2 ng/g lip 227.4 ng/L	149.8 ng/g lip 658.3 ng/L
Filles ado	124	2019-2020	39.6 ng/g lip 203 ng/L	38.0 ng/g lip 193.8 ng/L	128.0 ng/g lip 625.4 ng/L
Garçons ado	122	2019-2020	55.4 ng/g lip 265.1 ng/L	55.6 ng/g lip 266.1 ng/L	151.5 ng/g lip 684.8 ng/L
Belgique (Flandres), Schoeters et al., 2022					
Adolescents (14-15 ans)	415	2017-2018	43.2 ng/g lip	41.6 ng/g lip	

Conclusion :

Les niveaux d'imprégnation des adolescents en PCB-28, -52 et -101 sont inférieurs à la LOQ dans la plupart des échantillons, démontrant que soit l'exposition à ces congénères est très faible, plus faible par rapport aux autres PCBs plus chlorés, soit ces congénères moins chlorés sont plus métabolisables et donc s'accumulent moins dans l'organisme. Les concentrations du PCB-118 sont très semblables à celles mesurées dans le sérum d'adolescents suédois, allemands, ou canadiens, et même comparables aux niveaux observés pour des adultes

espagnols, mais très inférieures aux niveaux rapportés pour les adultes français de l'étude ESTEBAN. Les concentrations mesurées en PCB-138, -153, et -180 chez les adolescents wallons sont quant à elles comparables aux mesures réalisées chez des enfants allemands, plus élevées ou proches des valeurs retrouvées dans le sang des adolescents suédois, mais supérieures aux concentrations mesurées en populations adolescentes nord-américaines (USA et Canada). Comme attendu, les niveaux d'imprégnation des adolescents restent bien inférieurs aux niveaux mesurés chez les adultes.

La somme des PCBs totaux calculée pour les adolescents wallons et flamands est similaire, comme attendu car les périodes de recrutement et collecte d'échantillons sont assez proches, les populations ciblées semblables, et la méthode de calcul ($2 \times [\text{PCB-138} + \text{PCB-153} + \text{PCB-180}]$) identique.

6. CONCLUSIONS

Ce rapport présente les données de référence obtenues dans le sang des adultes (20-39 ans), adolescents (12-19 ans) et nouveau-nés (sang de cordon) wallons recrutés en 2019-2020 (phase 1) pour des substances sélectionnées et analysées en deuxième intention, et donc sur les prélèvements pour lesquels un volume d'échantillon suffisant était toujours disponible. Ces analyses complémentaires concernent 7 PFAS (PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFHxS et PFOS) chez les adultes (N=256), les adolescents (N=276), et les nouveau-nés (N=271) ; 7 PBDEs (PBDE-28, -47, -99, -100, -153, -154, -183) chez les adultes et adolescents (N=251 et 268 respectivement), et les 7 PCBs indicateurs (PCB-28, -52, -101, -118, -138, -153, -180) ainsi que les PCBs totaux chez les adolescents (N=246). Le tableau 5 synthétise les RV₉₅ établies pour ces paramètres.

Tableau 5: RV₉₅ pour les marqueurs complémentaires mesurés pour la population wallonne

Marqueur	Population	Age	Années	RV ₉₅
PFOA	Ado + adultes	12-39 ans	2019-2020	2.00 µg/L
	Nouveau-nés	sang cordon	2019-2020	1.30 µg/L
PFNA	Ado + adultes	12-39 ans	2019-2020	0.71 µg/L
	Nouveau-nés	sang cordon	2019-2020	0.30 µg/L
PFDA	Ado + adultes	12-39 ans	2019-2020	0.43 µg/L
	Nouveau-nés	sang cordon	2019-2020	0.15 µg/L
PFHxS	Ado + adultes	12-39 ans	2019-2020	1.60 µg/L
	Femmes	12-39 ans	2019-2020	1.20 µg/L
	Hommes	12-39 ans	2019-2020	1.80 µg/L
	Nouveau-nés	sang cordon	2019-2020	0.62 µg/L
PFOS	Ado + adultes	12-39 ans	2019-2020	6.60 µg/L
	Femmes*	12-39 ans	2019-2020	5.00 µg/L
	Hommes*	12-39 ans	2019-2020	7.70 µg/L
	Nouveau-nés	sang cordon	2019-2020	1.30 µg/L
PBDE-47	Ado + adultes	12-39 ans	2019-2020	1.9 ng/g lip
PBDE-153	Ado + adultes	12-39 ans	2019-2020	1.7 ng/g lip
	Adolescents	12-19 ans	2019-2020	1.3 ng/g lip
	Adultes	20-39 ans	2019-2020	1.9 ng/g lip
PCB-28	Adolescents	12-19 ans	2019-2020	4.6 ng/g lip
PCB-118	Adolescents	12-19 ans	2019-2020	5.0 ng/g lip
PCB-138	Adolescents	12-19 ans	2019-2020	19 ng/g lip
PCB-153	Adolescents	12-19 ans	2019-2020	44 ng/g lip
PCB-180	Adolescents	12-19 ans	2019-2020	34 ng/g lip
	Filles*	12-19 ans	2019-2020	27 ng/g lip
	Garçons*	12-19 ans	2019-2020	38 ng/g lip
PCBs totaux	Adolescents	12-19 ans	2019-2020	140 ng/g lip

*Sous-groupes pour lesquels les tests de Mann Whitney n'étaient pas significatifs mais les z-tests à une proportion sur les P95 présentaient une p-value <0.001.

Comme attendu, excepté le PFHxA et le PFHpA qui n'ont jamais ou très peu été détectés, les PFAS ciblés ont été quantifiés dans pratiquement tous les échantillons de sang des adolescents

et adultes, avec le PFOS et le PFOA contribuant le plus au taux d'imprégnation quelle que soit la population ciblée. Les concentrations mesurées dans les sangs de cordon étaient entre 2 et 3 fois plus basses comparées aux valeurs mesurées dans les prélèvements des adolescents et adultes. Pour certains PFAS, on a observé des concentrations sériques significativement plus élevées chez les adultes (vs adolescents), et chez les hommes (vs femmes). Ces observations sont cohérentes avec les résultats rapportés dans un grand nombre d'études. Les adultes wallons présentent des concentrations en PFAS comparables aux autres populations européennes ou nord-américaines recrutées récemment, mais 2 fois plus basses qu'une population liégeoise recrutée 5 ans plus tôt, confirmant le déclin progressif de l'exposition à ces substances ces 10 dernières années.

Les concentrations en PBDEs mesurées dans le sang des adolescents et adultes wallons sont dans l'ensemble très faibles, avec uniquement les PBDE-47 et -153 qui ont pu être détectés (dans moins d'un échantillon sur 3), à des concentrations comparables aux concentrations observées en Europe, mais bien plus basses que celles observées en populations nord-américaines. Cependant, les concentrations mesurées sont telles que l'incertitude de mesure est importante, et sont donc à considérer avec prudence.

Parmi les PCBs indicateurs, les PCB-28, -52, et -101 ont été détectés dans peu voire aucun échantillon des adolescents wallons, tandis que les PCB-118, -138, -153 et -180 ont pu être quantifiés dans une grande majorité de ces prélèvements. Ces résultats mettent en évidence soit une plus faible exposition de la population aux PCBs les moins chlorés, soit une plus grande métabolisation de ces derniers résultant en une accumulation plus faible dans l'organisme. Dans l'ensemble, les adolescents wallons présentent des concentrations sanguines en PCBs indicateurs proches ou similaires à celles mesurées chez les adolescents européens, mais supérieures aux concentrations retrouvées dans les populations adolescentes nord-américaines (USA et Canada). Comme attendu, les niveaux d'imprégnation des adolescents restent bien inférieurs aux niveaux mesurés chez les adultes.

Ces différences de contamination en PBDEs et PCBs entre les populations européennes et nord-américaines proviennent probablement d'une différence d'exposition liée à une réglementation et une gestion différente de ces polluants entre les 2 continents.

RÉFÉRENCES

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), 2018. Toxicological profile for perfluoroalkyls. Draft for Public Comment Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Available on <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp200.pdf>.
- Balestier, A., Fillol, C., Gane, J., Oleko, A., Saoudi, A., Zeghnoun, A., 2021. Imprégnation de la population française par les polychlorobiphényles, dioxines et furanes. Programme national de biosurveillance, Esteban 2014-2016. <http://www.santepubliquefrance.fr>
- Ballschmitter, K. and Zell, M., 1980. Analysis of Polychlorinated Biphenyls (PCB) by Glass Capillary Gas Chromatography. *Fresenius Z. Anal. Chem.* 302, 20-31.
- Bandow, N., Conrad, A., Kolossa-Gehring, M., Murawski, A., Sawal, G., 2020. Polychlorinated biphenyls (PCB) and organochlorine pesticides (OCP) in blood plasma – Results of the German environmental survey for children and adolescents 2014–2017 (GerES V). *Int. J. Hyg. Environ. Health*, 224: 113426. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2019.113426>
- Bartolomé, M., Gallego-Picó, A., Cutanda, F., Huetos, O., Esteban, M., Pérez-Gómez, B., Castaño, A., 2017. Perfluorinated alkyl substances in spanish adults: geographical distribution and determinants of exposure. *Sci. Total Environ.* 603–604, 352–360. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.031>
- Berg, V., Nøst, T.H., Huber, S., Rylander, C., Hansen, S., Veyhe, A.S., Fuskevåg, O.M., Odland, J.Ø., Sandanger, T.M., 2014. Maternal serum concentrations of per- and polyfluoroalkyl substances and their predictors in years with reduced production and use. *Environ. Int.* 69, 58–66. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.04.010>.
- Bjermo, H., Darnerud, P.O., Pearson, M., Barbieri, H.E., Lindroos, A.K., Nälsén, C., Lindh, C.H., Jönsson, B.A.G., Glynn, A., 2013. Serum concentrations of perfluorinated alkyl acids and their associations with diet and personal characteristics among Swedish adults. *Mol. Nutr. Food Res.* 57 (12), 2206–2215. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201200845>.
- Bjermo, H., Aune, M., Cantillana, T., Glynn, A., Lind, P.M., Ridefelt, P., Darnerud, P.O., 2017. Serum levels of brominated flame retardants (BFRs: PBDE, HBCD) and influence of dietary factors in a population-based study on Swedish adults. *Chemosphere* 167: 485-491
- Björklund J.A., Thuresson K., De Wit C.A., 2009. Perfluoroalkyl Compounds (PFCs) in Indoor Dust : Concentrations, Human Exposure Estimates, and Sources, *Environ. Sci. Technol.* 43: 2276-2281.
- Blomberg, A.J., Shih, Y.-H., Messerlian, C., Joergensen, L. H., Weihe, P., Grandjean, P., 2021. Early-life associations between per- and polyfluoroalkyl substances and serum lipids in a longitudinal birth cohort. *Environ. Res.* 200, 111400

Coakley, J., Bridgen, P., Mueller, J., Douwes, J., 't Manneltje, A., 2018. Polybrominated diphenyl ethers and perfluorinated alkyl substances in blood serum of New Zealand adults, 2011-2013. *Chemosphere* 208, 382-389

Colles, A., Bruckers, L., Den Hond, E., Govarts, E., Morrens, B., Schettgen, T., Buekers, J., Coertjens, D., Nawrot, T., Loots, I. et al., 2020. Perfluorinated substances in the Flemish population (Belgium): Levels and determinants of variability in exposure. *Chemosphere* 242: 125250

Cornelis, C., D'Hollander, W., Roosens, L., Covaci, A., Smolders, R., Van Den Heuvel, R., Govarts, E., Van Campenhout, K., Reynders, H., Bervoets, L., 2012. First assessment of population exposure to perfluorinated compounds in Flanders, Belgium. *Chemosphere* 86 (3), 308–314. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.10>.

Covaci, A., Harrad, S., Abdallah, M.A.-E., Ali, N., Law, R.J., Herzke, D., De Wit, C.A., 2011. Novel brominated flame retardants: a review of their analysis, environmental fate and behaviour. *Environ. Int.* 37, 532e556. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412010002370>.

Curtui V., Brambilla G., di Domenico A., van Leeuwen S., 2012. European Food Safety Authority. Perfluoroalkylated substances in food: occurrence and dietary exposure. *EFSA Journal* 10:2743-2798.

de Wit, C.A., 2002. An overview of brominated flame retardants in the environment. *Chemosphere* 46, 583e624.

de Wit, C.A., Herzke, D., Vorkamp, K., 2010. Brominated flame retardants in the Arctic environment d trends and new candidates. *Sci. Total Environ.* 408, 2885e2918. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.08.037>.

Dvorakova, D., Pulkrabova, J., Gramblicka, T., Polachova, A., Buresova, M., López, M.E., Castaño, A., Nübler, S., Haji-Abbas-Zarrabi, K., Klausner, N., Göen, T., Mol, H., Koch, H.M., Vaccher, V., Antignac, J.-P., Haug, L.S., Vorkamp, K., Hajslova, J., 2021. Interlaboratory Comparison Investigations (ICIs) and External Quality Assurance Schemes (EQUASs) for Flame Retardant Analysis in Biological Matrices: Results from the HBM4EU Project. *Environ. Res.* 202: 111705. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111705>.

Dufour, P., Pirard, C., Seghaye, M.-C., Charlier, C., 2018. Association between organohalogenated pollutants in cord blood and thyroid function in newborns and mothers from belgian population. *Environ. Pollut.* 238, 389–396. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.03.058>.

European Food Safety Authority (EFSA), 2020. Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food, *EFSA Journal* 18(9):6223.

Available at: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2020.6223>

Ericson I., Marti-Cid R., Nadal M., Van Bavel B., Lindström G., Domingo J.L., 2008. Human exposure to perfluorinated chemicals through the diet: intake of perfluorinated compounds in foods from the Catalan (Spain) market. *J. Agric. Food Chem.* 56: 1787–1794.

Filloi C., Balicco A., Bidondo M.-L., Daoudi J., Gane J., Oleko A., Saoudi A., Zeghnoun A., 2019. Imprégnation de la population française par les retardateurs de flamme bromés : Programme national de biosurveillance, Esteban 2014-2016. <http://www.santepubliquefrance.fr>

Frery, N., Saoudi, A., Garnier, R., Zeghnoun, A., Falq, G. Exposition de la population française aux substances chimiques de l'environnement. Saint-Maurice: Institut de veille sanitaire: p58. Available online: <http://www.santepubliquefrance.fr>

Fromme, H., Hilger, B., Albrecht, M., Gries, W., Leng, G., Völkel, W., 2016. Occurrence of chlorinated and brominated dioxins/furans, PCBs, and brominated flame retardants in blood of German adults. *Int. J. Hyg. Environ. Health*, 219, Issues 4–5 : 380-388

Gallo, E., Barbiellini Amidei, C., Barbieri, G., Fabricio, A.S.C., Gion, M., Pitter, G., Dapra, F., Russo, F., Gregori, D., Fletcher, T., et al., 2022. Perfluoroalkyl substances and thyroid stimulating hormone levels in a highly exposed population in the Veneto Region. *Environ. Res.* 203, 111794

Glynn, A., Berger, U., Bignert, A., Ullah, S., Aune, M., Lignell, S., Darnerud, P.O., 2012. 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.* 46 (16), 9071–9079. <https://doi.org/10.1021/es301168c>.

Goeckener, B., Weber, T., Ruedel, H., Buecking, M., Kolossa-Gehring, M., 2020. Human biomonitoring of per- and polyfluoroalkyl substances in German blood plasma samples from 1982 to 2019. *Environ. Int.* 145, 106123

HBM4EU dashboard. Available online: <https://www.hbm4eu.eu/what-we-do/european-hbm-platform/eu-hbm-dashboard/>

Hurley, S., Goldberg, D., Nelson, D.O., Guo, W., Wang, Y., Baek, H.-G., Park, J.-S., Petreas, M., Bernstein, L., Anton-Culver, H.; et al., 2017. Temporal Evaluation of Polybrominated Diphenyl Ether (PBDE) Serum Levels in Middle-Aged and Older California Women, 2011-2015. *Environ. Sci. Technol.* 51(8): 4697-4704

Ingelido, A.M., Marra, V., Abballe, A., Valentini, S., Iacovella, N., Barbieri, P., Porpora, M.G., Domenico, Adi, Felip, E.D., 2010. Perfluorooctanesulfonate and perfluorooctanoic acid exposures of the Italian general population. *Chemosphere* 80 (10), 1125–1130. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.06.025>.

Ingelido, A.M., Abballe, A., Gemma, S., Dellatte, E., Iacovella, N., De Angelis, G., Zampaglioni, F., Marra, V., Miniero, R., Valentini, S., Russo, F., Vazzoler, M., Testai, E., De Felip, E., 2018. Biomonitoring of perfluorinated compounds in adults exposed to contaminated drinking water in the Veneto Region, Italy. *Environ. Int.* 110: 149-159.

Jeon, H.L, Hong, S., Choi, K., Lee, C., Yoo, J. 2021. First nationwide exposure profile of major persistent organic pollutants among Korean adults and their determinants: Korean National Environmental Health Survey Cycle 3 (2015–2017). *Int. J. Hyg. Environ. Health* 236:113779. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2021.113779>

Kim D.-H., Lee J.-H., Oh J.-E., 2019. Assessment of individual-based perfluoroalkyl substances exposure by multiple human exposure sources. *Journal of Hazardous Materials* 365: 26-33.

Kissa, E., 2001. *Fluorinated Surfactants and Repellents*, 2nd edition. Marcel Dekker Inc., New York.

Klenow S., Heinemeyer G., Brambilla G., Dellatte E., Herzke D., de Voogt P., 2013. Dietary exposure to selected perfluoroalkyl acids (PFAAs) in four European regions. *Food Additives & Contaminants, Part A: Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment* 30: 2141-2151.

Kraft, M., Rauchfuss, K., Sievering, S., Wöckner, M., Neugebauer, F., Fromme, H., 2017. Quantification of all 209 PCB congeners in blood – can indicators be used to calculate the total PCB blood load? *Int. J. Hyg. Environ. Health* 220 :201-208

Lestremau F., 2012. Analyse de composés perfluorés dans l'eau naturelle par extraction sur phase solide en ligne couplée à de la chromatographie liquide/ spectrométrie de masse en tandem, Rapport AQUAREF, 55 p.

Lindstrom, A.B., Strynar, M.J., Libelo, E.L., 2011. Polyfluorinated compounds: past, present, and future. *Environmental Science and Technology* 45 (19), 7954–7961. <https://doi.org/10.1021/es2011622>.

Miralles-Marco A., Harrad S., 2015. Perfluorooctane sulfonate : A review of human exposure, biomonitoring and the environmental forensics utility of its chirality and isomer distribution, *Environment international* 77: 148-159.

Nyström, J., Benskin, J.P., Plassmann, M., Sandblom, O., Glynn, A., Lampa, E., Gyllenhammar, I., Lignell, S., Moraeus, L., 2022. Healthy eating index and diet diversity score as determinants of serum perfluoroalkyl acid (PFAA) concentrations in a national survey of Swedish adolescents. *Environ. Res.* 212(Part_A), 113170

Oleko, A., Balicco, A., Bidondo, M.L., Fillol, C., Gane, J., Saoudi, A., Zeghnoun, A., 2019. Imprégnation de la population française par les composés perfluorés : Programme national de biosurveillance, Esteban 2014-2016. Saint-Maurice : Santé publique France, 58 p. <https://www.santepubliquefrance.fr>

Papadopoulou, E., Nicolescu, A., Haug, L.S., Husoey, T., Deleanu, C., Dirven, H., Lindeman, B., 2022. Lipoprotein profiles associated with exposure to poly- and perfluoroalkyl substances (PFASs) in the EuroMix human biomonitoring study. *Environ. Pollut.* 308: 119664

Ping, Zheng, Liu, Yingxue; An, Qi; Yang, Xiaomeng; Yin, Shanshan; Ma, Lena Q.; Liu, Weiping, 2022. Prenatal and postnatal exposure to emerging and legacy per-/polyfluoroalkyl substances: Levels and transfer in maternal serum, cord serum, and breast milk. *Sci. Tot. Environ.* 812, 152446

Pirard, C., Dufour, P., Charlier, C., 2020. Background contamination of perfluoroalkyl substances in a Belgian general population. *Toxicology Letters* 333: 13–21

Ploteau, S., Cano-Sancho, G., Volteau, C., Legrand, A., Vénisseau, A., Vacher, V., Marchand, P., Le Bizec, B., Antignac, J.P., 2017. Associations between internal exposure levels of persistent organic pollutants in adipose tissue and deep infiltrating endometriosis with or without concurrent ovarian endometrioma, *Environ. Int.* 108, Pages 195-203,

Porta, M., Pumarega, J., Henriquez-Hernandez, L.A., Gasull, M., Bartoll, X., Arrebola, J.P., Morales, E., Ibarluzea, J., Alguacil, J., Bilal, U. et al., 2021. Reductions in blood concentrations of persistent organic pollutants in the general population of Barcelona from 2006 to 2016. *Sci. Tot. Environ.* 777: 146013.

Richterova, D., Fabelova, L., Patayova, H., Pulkrabova, J., Lankova, D., Rausova, K., Sovcikova, E., Stencl, J., Hajslova, J., Trnovec, T. et al., 2018. Determinants of prenatal exposure to perfluoroalkyl substances in the Slovak birth cohort. *Environ. Int.* 121(Part_2), 1304-1310

Schoeters, G., Govarts, E., Bruckers, L., Den Hond, E., Nelen, V., De Henauw, S., Sioen, I., Nawrot, T.S., Plusquin, M., Vriens, A., et al., 2017. Three cycles of human biomonitoring in flanders – time trends observed in the flemish environment and health study. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 220 (2, Part A), 36–45. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2016.11.006>.

Schoeters, G., Verheyen, V. J., Colles, A., Remy, S., Martin, L.R., Govarts, E., Nelen, V., Den Hond, E., De Decker, A., Franken, C.; et al., 2022. Internal exposure of Flemish teenagers to environmental pollutants: Results of the Flemish Environment and Health Study 2016-2020 (FLEHS IV). *Int. J. Hyg. Environ. Health* 242: 113972

Schröter-Kermani, C., Müller, J., Jürling, H., Conrad, A., Schulte, C., 2013. Retrospective monitoring of Perfluorocarboxylates and perfluorosulfonates in human plasma archived by the german environmental specimen bank. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 216 (6), 633–640. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2012.08.004>

Sjödin, A., Patterson, D.G., Bergman, Å., 2003. A review on human exposure to brominated flame retardants particularly polybrominated diphenyl ethers. *Environ. Int.* 29, 829e839. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(03\)00108-9](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(03)00108-9).

Sjödin, A., Jones, R.S., Wong, J.-L., Caudill, S.P., Calafat, A.M., 2019. Polybrominated Diphenyl Ethers and Biphenyl in serum: Time trend study from the National Health and Nutrition Examination Survey for years 2005/06 through 2013/14. *Environ. Sci. Technol.* 53(10): 6018–6024. doi:10.1021/acs.est.9b00471.

Sochorova, L., Hanzlikova, L., Cerna, M., Drgacova, A., Fialova, A., Svarcova, A., Gramblicka, T., Pulkrabova, J., 2017. Perfluorinated alkylated substances and brominated flame retardants in serum of the Czech adult population. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 220 (2_Part_A), 235-243

Sungur S., 2018. Dietary exposure to perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctane sulfonic acid (PFOS): a review of recent literature. *Toxin Reviews* 37: 106-116

Tay, J.H., Sellstroem, U., Papadopoulou, E., Padilla-Sanchez, J. A., Haug, L.S., de Wit, C. A. Serum concentrations of legacy and emerging halogenated flame retardants in a Norwegian cohort: Relationship to external exposure. *Environ. Res.* 178: 108731

UNEP, 2007. Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. Available online: <http://www.pops.int>.

WHO and the Convention Task Force on the Health Aspects of Air Pollution (2003) Health risks of persistent organic pollutants from long range transboundary air pollution. World Health Organisation Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark. http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0009/78660/e78963.pdf.

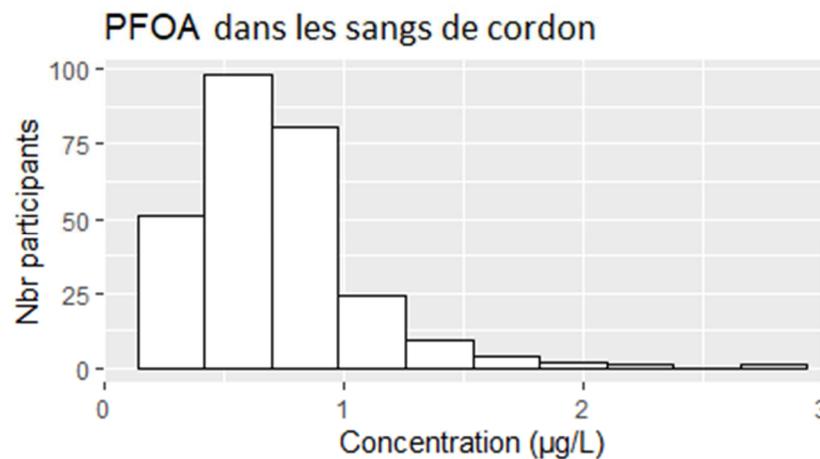
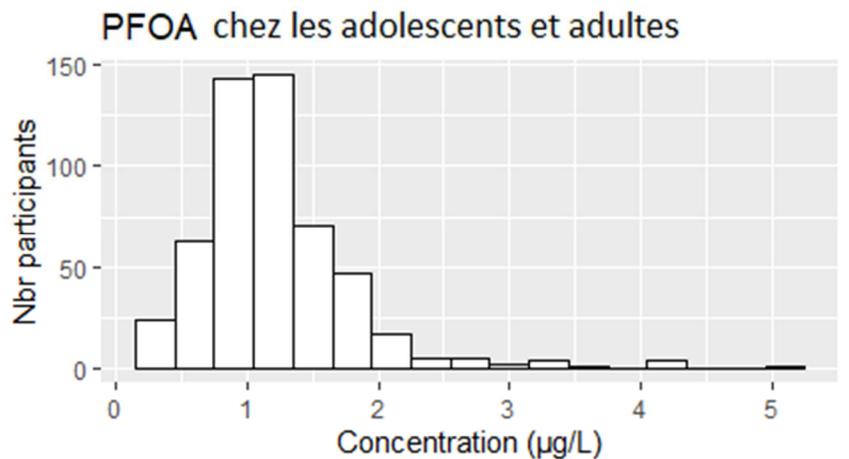
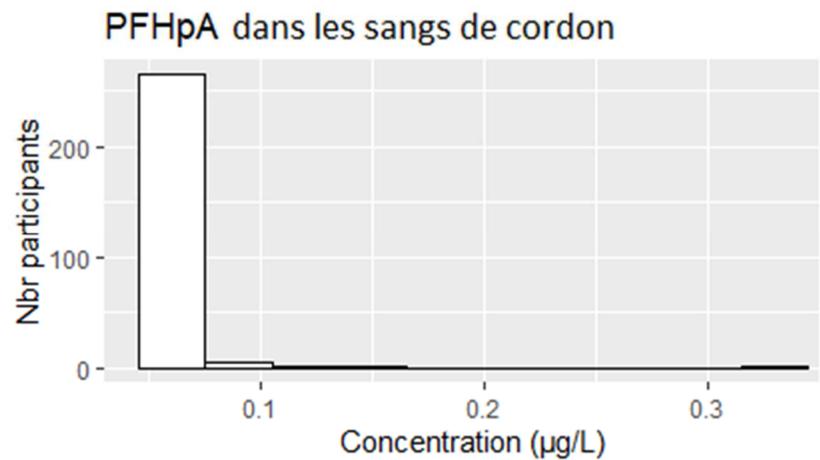
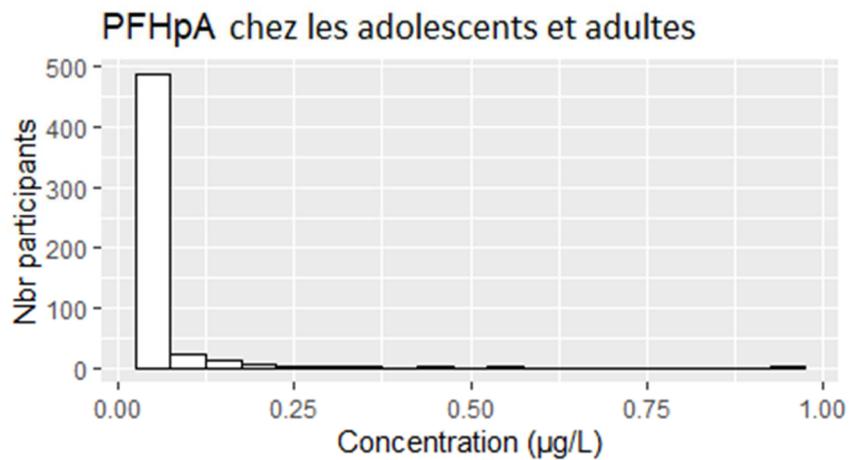
Wielsøe, M., Long, M., Bossi, R., Vorkamp, K., Cecilie Bonefeld-Jørgensen, E., 2022. Persistent organic pollutant exposures among Greenlandic adults in relation to lifestyle and diet: New data from the ACCEPT cohort. *Sci. Tot. Environ.* 827:154270. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154270>

Yeung, L.W.Y., Robinson, S.J., Koschorreck, J., Mabury, S.A., Part, I.I., 2013. A temporal study of PFOS and its precursors in human plasma from two german cities in 1982–2009. *Environ. Sci. Technol.* 47 (8), 3875–3882. <https://doi.org/10.1021/es4004153>.

Zamaratskaia, G., Bjeremo, H., Lindroos, A.K., Ruokojärvi, P., Rantakokko, P., Kiviranta, H., Lignell, S., 2022. Breastfeeding during infancy and consumption of fish and dairy products are associated with chlorinated persistent organic pollutants in serum from Swedish adolescents. *Environ. Advances* 8: 100210. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100210>.

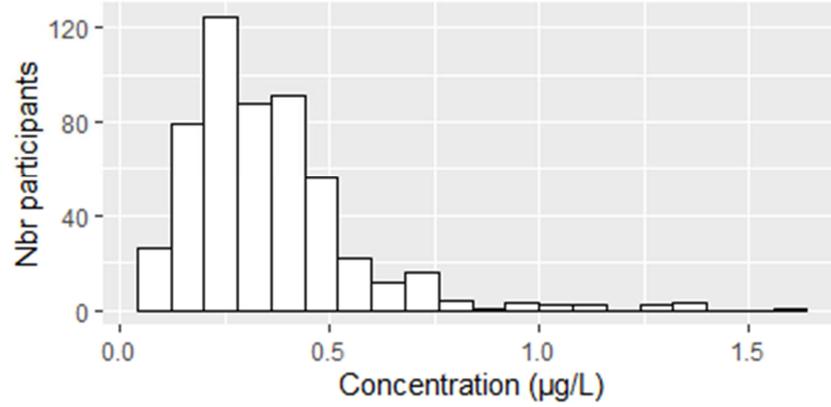
ANNEXES

ANNEXE 1 - Histogrammes des distributions de valeurs dans les populations ciblées pour chacun des nouveaux biomarqueurs analysés

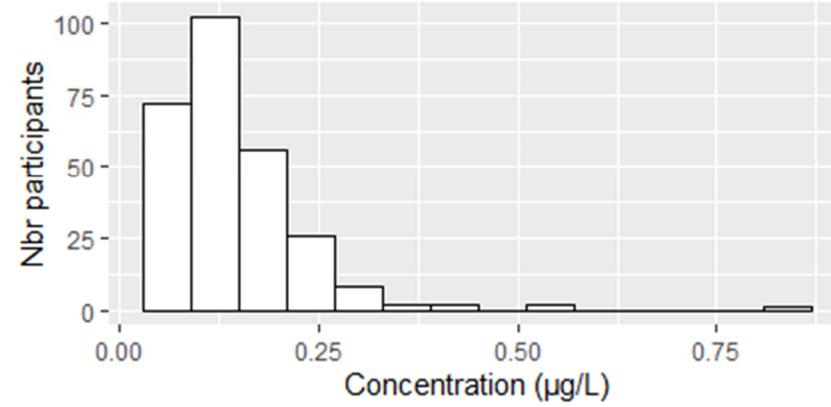


ANNEXE 1 - suite

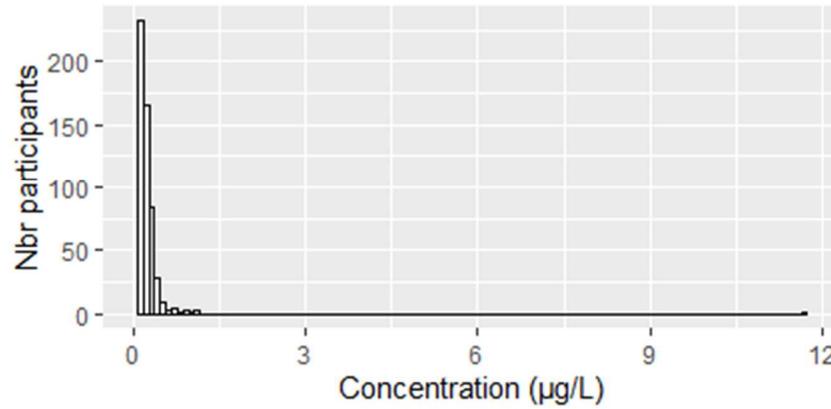
PFNA chez les adolescents et adultes



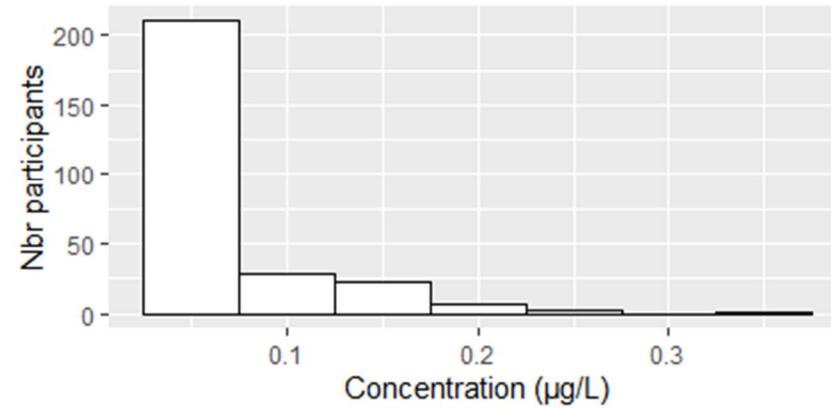
PFNA dans les sangs de cordon



PFDA chez les adolescents et adultes

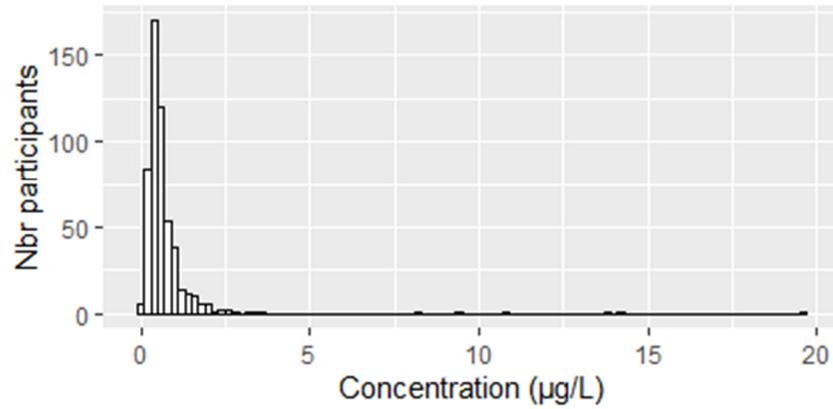


PFDA dans les sangs de cordon

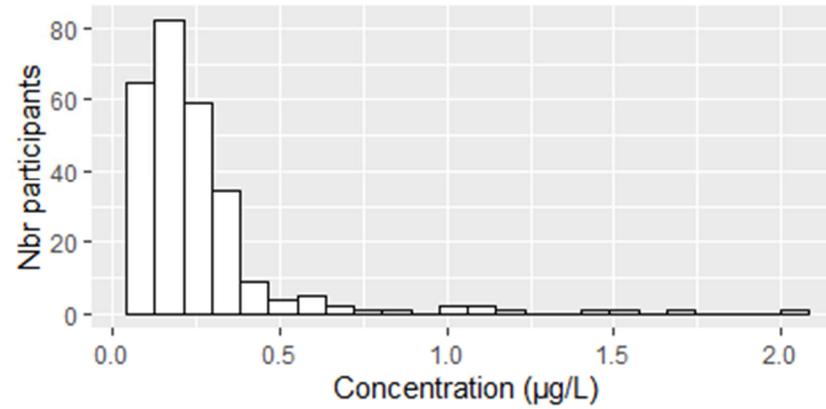


ANNEXE 1 - suite

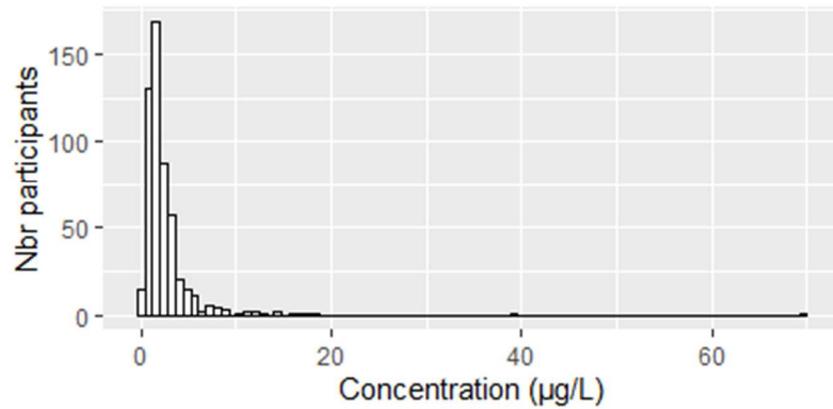
PFHxS chez les adolescents et adultes



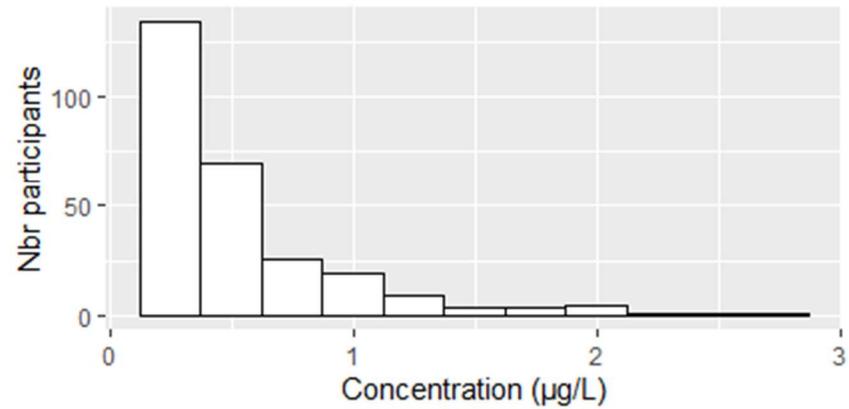
PFHxS dans les sangs de cordon



PFOS chez les adolescents et adultes

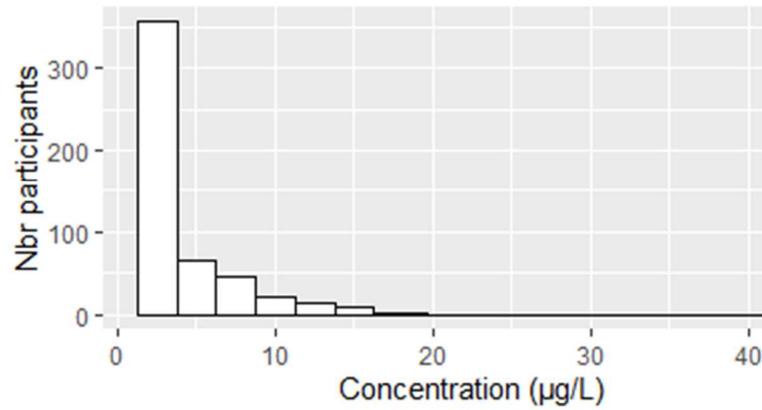


PFOS dans les sangs de cordon

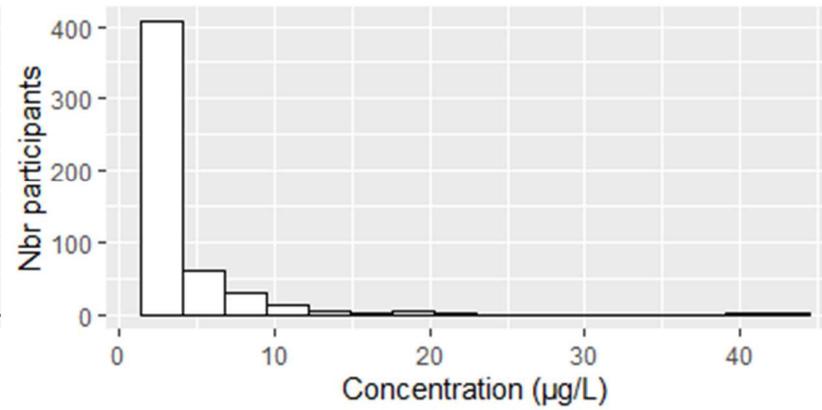


ANNEXE 1 - suite

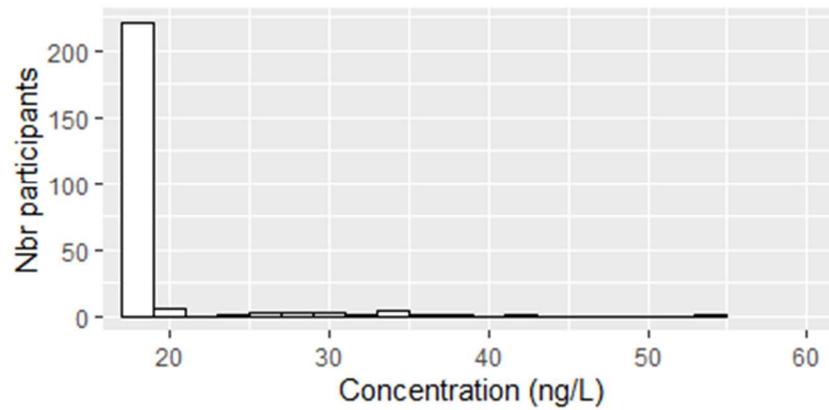
PBDE-47 chez les adolescents et adultes



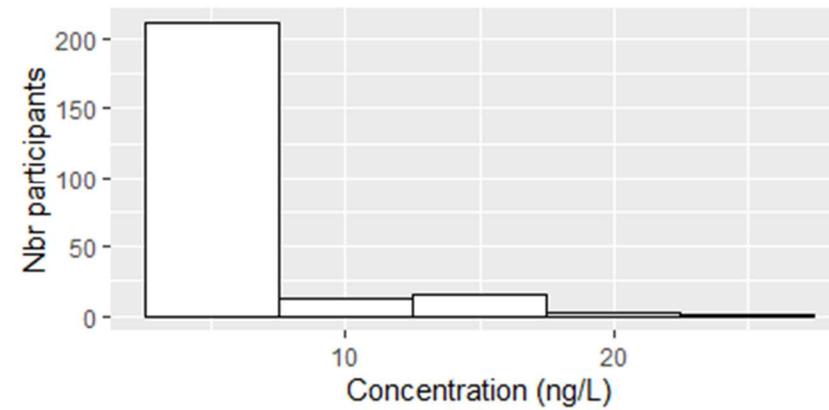
PBDE-153 chez les adolescents et adultes



PCB-28 chez les adolescents

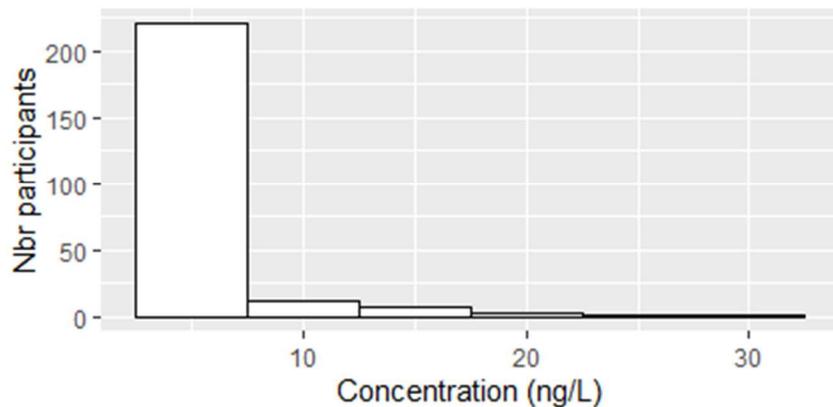


PCB-52 chez les adolescents

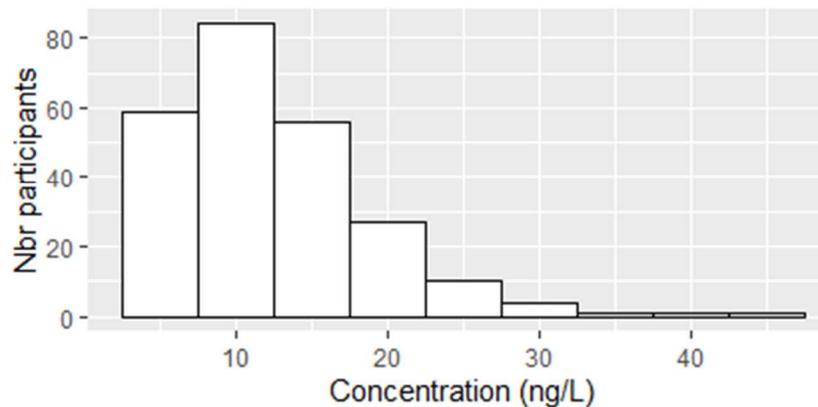


ANNEXE 1 - suite

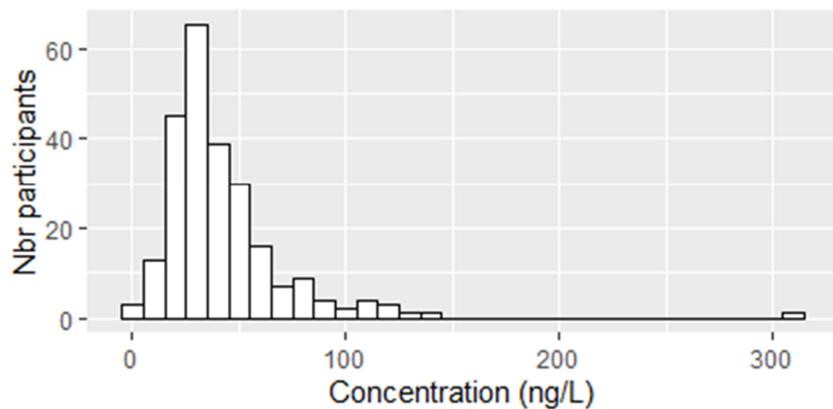
PCB-101 chez les adolescents



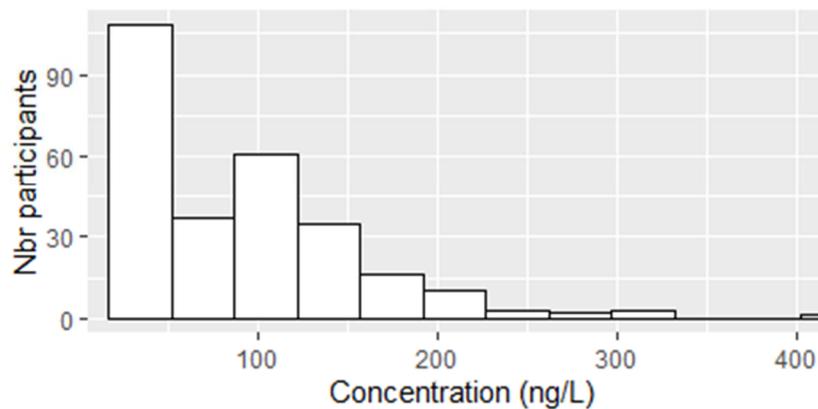
PCB-118 chez les adolescents



PCB-138 chez les adolescents



PCB-153 chez les adolescents



ANNEXE 1 - suite

