

Biomonitoring humain spécifique aux PFAS dans les communes où des surexpositions environnementales de la population sont présumées

BMH-PFAS

Rapport préliminaire

Zone de 'Chièvres' & Zone de 'Ronquières'

Rapport n° : RP1-RAP-24-01989

22 juin 2024

Infos – Septembre 2024: Les résultats des analyses PFAS du biomonitoring BMH-PFAS des zones de Chièvres et Ronquières, tels qu'ils apparaissent dans ce rapport, ont été sous-estimés. De nouvelles prises de sang ont été proposées aux participants s'ils le souhaitent. Les résultats présentés dans ce rapport feront l'objet d'une mise à jour ultérieure.

Table des matières

Avant-propos	4
1. Contexte	5
2. Objectifs	7
3. Substances d'intérêt : PFAS	7
3.1 Matrice biologique et types de prélèvements	9
3.2 Valeurs de référence d'exposition wallonnes	10
3.3 Valeurs de référence sanitaire	12
4. Zones d'étude et Populations cibles	14
5. Résultats préliminaires	15
5.1 Zone 'Chièvres'	15
5.1.1 Description de la population testée	15
5.1.2 Imprégnation en PFAS des résidents de la zone étudiée.....	16
5.1.3 Comparaison avec la population générale wallonne	22
5.1.4 Profils PFAS.....	26
5.2 Zone 'Ronquières'	28
5.2.1 Description de la population testée	28
5.2.2 Imprégnation en PFAS des résidents de la zone étudiée.....	29
5.2.3 Comparaison avec la population générale wallonne	35
5.2.4 Profils PFAS.....	38
6. Conclusions et recommandations préliminaires	41
7. Bibliographie	43
8. Annexes	45
8.1 Tableaux des statistiques descriptives des PFAS dans le sang des résident.e.s de la zone de Chièvres	45
8.2 Tableaux des statistiques descriptives des PFAS dans le sang des résident.e.s de la zone de Ronquières	45

Ce document est un rapport intermédiaire du projet BMH-PFAS, ayant pour mission la mise en place d'un biomonitoring spécifique aux PFAS dans les communes où des surexpositions environnementales de la population sont présumées.

Les avis, opinions et recommandations délivrés dans le cadre de ce rapport sont établis sur base des données scientifiques et techniques et d'informations disponibles à ce jour. Dans la mesure du possible, leur source est clairement mentionnée. Certaines données sont également reprises intégralement en annexe. Bien que l'ISSeP procède à une vérification minutieuse de leur fiabilité, il ne pourra être tenu responsable des erreurs susceptibles de les affecter.

Les avis, opinions et recommandations délivrés par l'ISSeP dans le cadre de ce rapport ne constituent qu'une aide à la décision fournie aux pouvoirs publics, et ne préjugent en rien de l'utilisation finale qui en sera faite.

Ce rapport ne peut être reproduit, sinon en entier, sauf accord de l'Institut.

Auteurs

Institut Scientifique de Service Public (ISSeP)

RUTHY Ingrid, attachée, Cellule Environnement-Santé, Direction des Risques Chroniques

JACQUES Aline, attachée, Cellule Environnement-Santé, Direction des Risques Chroniques

GISMONDI Eric, attaché, Cellule Environnement-Santé, Direction des Risques Chroniques

LEJEUNE Dima, attachée, Cellule Environnement-Santé, Direction des Risques Chroniques

VINDERS Annick, technicienne, Cellule Environnement-Santé, Direction des Risques Chroniques

JACQUEMIN Pierre, responsable, Cellule Environnement-Santé, Direction des Risques Chroniques.

Contact : biomonitoring@issep.be

Remerciements

Nous tenons à remercier l'ensemble des résident.e.s des zones de Chièvres et de Ronquières qui ont participé à l'étude BMH-PFAS ainsi que les bourgmestres des communes concernées et leurs agents pour l'aide apportée dans la phase d'information des citoyens et de mise en place des séances de prélèvements.

Merci également à tous les collègues de l'ISSeP, notamment des cellules Environnement-Santé, Communication et Support informatique pour leurs précieuses contributions.

Enfin, merci aux membres du Consortium BMH-Wal, nos partenaires dans ce projet, aux membres du Comité d'accompagnement et du Comité Scientifique pour leur appui scientifique. Nous remercions aussi les experts du Conseil Scientifique Indépendant PFAS (CSI) pour les échanges et leurs travaux sur les valeurs-seuils santé, sur les recommandations pour le suivi médical, sur la communication vers les participants et les professionnels de la santé, etc.

Avant-propos

Le présent document constitue un rapport préliminaire sur l'interprétation des résultats d'imprégnation aux PFAS des habitants des zones de Chièvres et de Ronquières ayant participé à l'étude BMH-PFAS. Beaucoup de données ont été recueillies dans le cadre de cette étude, les données sur le dosage des PFAS dans le sang et les données collectées via le questionnaire. Une partie des données, seulement, est exploitée ici. Dans un second temps, le travail portera sur l'étude des déterminants de l'exposition suite à l'analyse croisée des résultats des biomarqueurs d'exposition et des réponses aux questionnaires.

L'équipe de l'ISSEP est accompagnée par des comités (comité d'accompagnement & comité technique et scientifique) dans la cadre de cette mission, confiée par le Gouvernement wallon, en date du 7 décembre 2023. Un Conseil Scientifique Indépendant PFAS (CSI), a également été mis en place par le Gouvernement wallon le 23 novembre 2023. Ce dernier a, entre autres, pour mission de proposer des valeurs de référence sanitaire et des normes environnementales, de formuler des recommandations générales (ou affiner celles existantes), de fournir des informations utiles et des recommandations pour la communication vers les participants et les médecins, etc.

1. Contexte

Les alkyls perfluorés et polyfluorés (PFAS) sont un groupe de substances chimiques fabriquées par l'homme qui sont utilisées dans une grande variété d'applications en raison de leurs propriétés hydrofuges, anti-graisse et anti-salissures. Cette famille de composés chimiques, caractérisés par une chaîne carbonée portant des atomes de fluor, en compte plus de 4700 différents, tous d'origine humaine (OCDE, 2021). Ils sont utilisés depuis les années 1950 dans de nombreuses applications industrielles et produits de consommation (textiles, emballages, cosmétiques, poêles...) (OCDE, 2022).

Les PFAS sont connus sous le nom de « produits chimiques éternels » car ils sont extrêmement persistants dans notre environnement et dans notre corps. Ils sont présents dans un très grand nombre de produits du quotidien. Dans l'environnement, on les retrouve dans différents milieux tels que les eaux superficielles et souterraines, l'air, les sols ou encore dans la chaîne alimentaire.

En plus de cette propriété de persistance, les PFAS sont également bio-accumulatifs dans le corps humain, les animaux, les plantes. Les PFAS, notamment les sulfonates de perfluorooctane (PFOS) et l'acide perfluorooctanoïque (PFOA), peuvent avoir des effets néfastes sur les humains, les animaux et l'environnement. Ces effets diffèrent d'un PFAS à l'autre. En outre, il existe de nombreux PFAS qui n'ont pas encore été suffisamment étudiés et dont nous ne connaissons pas les effets indésirables.

De récents scandales, en Belgique (en 2021, usine 3M près d'Anvers), en France (en 2022, la plateforme chimique de Pierre-Bénite au sud de Lyon), les ont projetés sur le devant la scène. La carte, éditée par le journal Le Monde¹ en février 2023, issue d'une enquête collaborative internationale, pointant les usines de production de PFAS, certains sites où ils sont utilisés et les sites où une contamination a été détectée ou présumée en Europe, a renforcé l'intérêt des autorités et des citoyens envers la problématique des PFAS.

En Wallonie, plusieurs actions ont été initiées pour mieux appréhender cet enjeu sociétal et environnemental. Bien que la Wallonie ne compte pas de producteurs de PFAS sur son territoire mais uniquement des sites qui utilisent des PFAS, un cadastre complet des sites "à risques PFAS" a été sollicité auprès de l'Administration (SPW-ARNE). Les sites utilisateurs les plus à risques visés par ce cadastre sont les suivants : les bases militaires, les casernes de pompiers, les sites de broyage de métaux, les sites industriels utilisant ou ayant utilisé des PFAS et les anciens centres d'enfouissement technique. Ces sites font l'objet d'une attention particulière en raison de l'usage de PFAS dans leurs procédés industriels (par exemple des mousses d'extinction d'incendies, contenant souvent des PFAS) ou bien suite à la présence de déchets de biens de consommation contenant des PFAS (poêles antiadhésives, vêtements techniques, emballages alimentaires, etc.). Ce sont les sites où les risques sont les plus importants.

Des projets environnementaux ont été lancés pour investiguer spécifiquement les sites à risques PFAS, avec notamment des analyses dans les sols et les eaux souterraines. Dans le cadre des investigations prévues par le Décret Sols, lors du renouvellement de permis d'environnement ou lors de l'étude de pollutions, les PFAS font désormais partie des substances à surveiller. Dans le cadre du réseau de surveillance de la qualité des masses d'eau de surface, les PFAS sont recherchés dans les cours d'eau.

¹https://www.lemonde.fr/en/les-decodeurs/article/2023/02/23/forever-pollution-explore-the-map-of-europe-s-pfas-contamination_6016905_8.html#

Les masses d'eau souterraines sont également investiguées. Depuis septembre 2023, les PFAS sont monitorés dans l'eau de distribution pour la consommation humaine.

En novembre 2023, l'émission de la RTBF, #Investigation, a mis sous le feu des projecteurs des hotspots environnementaux PFAS en Wallonie. Plusieurs zones ont été épinglées du fait de teneurs élevées en PFAS dans l'environnement : Chièvres, Feluy, Nimy. Ainsi, dans la région de Chièvres, l'eau potable distribuée entre octobre 2021 et mars 2023 dans les communes desservies par le puits de Chièvres contenait des PFAS en quantité supérieure à la future norme de 100 ng/l (qui entrera en vigueur au plus tard le 12 janvier 2026). Suite à l'émission, différentes actions ont été entreprises.

Le monitoring PFAS des eaux de distribution wallonnes a été confié à la SWDE. Lors de ce monitoring, des dépassements de la future norme ont été mesurés dans l'eau potable distribuée dans d'autres communes wallonnes, comme à Ronquières (novembre 2023), à Nandrin (décembre 2023). Le 22 novembre 2023, le Gouvernement wallon a mis en place un Conseil Scientifique, composé d'experts indépendants, dont la mission générale est de conseiller le Gouvernement et d'examiner les conséquences des PFAS sur la santé et l'environnement. Pour les zones contaminées en PFAS, nommées 'zones d'investigation prioritaires' (ZIP) par l'Administration, des études environnementales ont démarré en décembre 2023.

En outre, les autorités wallonnes ont confié à l'ISSEP la mission de mettre en place des campagnes d'analyses sanguines pour objectiver l'exposition et l'éventuelle surexposition de la population de ces zones.

Le biomonitoring consiste en la mesure de substances (ou de leurs métabolites) dans des fluides ou tissus humains (sang, urine, sang de cordon ombilical, cheveux, etc.). Il permet d'obtenir une estimation de l'exposition réelle et globale des personnes aux substances, toutes sources et voies d'exposition confondues. A ce titre, le biomonitoring est particulièrement utile pour le suivi des substances largement distribuées dans l'environnement intérieur et extérieur (eau, air, sol) mais également dans l'alimentation et les produits de la vie quotidienne (matériaux, produits de nettoyage, jouets, etc.). Les biomonitorings menés en population générale permettent d'avoir une vue globale de l'exposition de toute une population. Cet outil de surveillance peut aussi être déployé pour mener des biomonitorings spécifiques dans des zones particulières (hotspots), sur des populations vulnérables ou encore suite à des événements ponctuels accidentels de pollution. Les résultats de tels projets permettent de mettre en évidence une surexposition éventuelle des populations qui résident dans ces hotspots ou des populations vulnérables mais aussi de réaliser une évaluation des risques pour leur santé, dans la mesure où des valeurs de référence sanitaires existent pour les substances étudiées.

En 2018, le Gouvernement wallon a initié le programme de biomonitoring humain wallon, BMH-Wal. L'objectif premier de ce programme est la détermination de valeurs de référence d'exposition². Aujourd'hui, la Wallonie dispose ainsi de valeurs de référence d'exposition en population générale pour plusieurs substances chimiques et polluants présents dans l'environnement et pour sept catégories d'âge : les nouveau-nés, les enfants de 3-5 ans & de 6-11 ans, les adolescents (12-19 ans) et les jeunes adultes (20-39 ans), les adultes (40-59 ans) (rapports ISSEP : Jacques *et al*, 2023 a, b, c). Les PFAS font partie des substances qui ont été analysées sur les échantillons de sang de cordon des nouveau-nés et

² Une valeur de référence renseigne sur le niveau d'imprégnation d'une population ciblée, à une substance chimique à un moment donné. Elle fixe une limite arbitraire entre le « bruit de fond » d'exposition à la substance d'intérêt dans la population d'étude et la partie supérieure des niveaux d'exposition.

les échantillons de sang des adolescents et adultes. Chez les enfants, le dosage des PFAS n'a pas été possible en raison de l'absence de prélèvement sanguin.

2. Objectifs

L'objectif global de ce biomonitoring humain ciblé est d'**objectiver l'exposition aux PFAS** de la population dans les zones où un dépassement de la future norme de 100 ng/l a été détectée sur le réseau d'eau de distribution pour la consommation humaine ainsi que de la population riveraine des zones d'investigation prioritaires (ZIP).

Les niveaux d'imprégnation en PFAS mesurés chez les habitants de ces zones seront **comparés à ceux mesurés en population générale**, entre autres avec les valeurs de référence sur l'exposition des Wallons produites via le programme BMH-Wal, mais aussi avec des données flamandes, européennes et internationales, si elles existent. Les données seront aussi **comparées aux valeurs de référence sanitaires disponibles, recommandées par le Conseil Scientifique Indépendant PFAS**.

Grâce aux dosages et à l'analyse des questionnaires des participants, cette étude devrait permettre d'**affiner les recommandations** émises précédemment pour réduire l'exposition des populations riveraines, en concertation avec le Conseil Scientifique Indépendant PFAS.

3. Substances d'intérêt : PFAS

Les PFAS forment un groupe hétérogène de chaînes de carbone aliphatiques entièrement (per-) ou partiellement (poly-) fluorées, reliées à différents groupes fonctionnels. Les PFAS englobent une grande variété de molécules ayant des propriétés physiques et chimiques et des poids moléculaires différents, avec des groupements perfluoroalkyles comme caractéristique structurelle commune. Ces substances sont synthétisées depuis les années 1950.

Leurs propriétés exceptionnelles se traduisent par un nombre considérable d'applications diverses dans de nombreux secteurs : électrolytes dans les batteries lithium, surfactants, formulation de pesticides et de mousses anti-incendie, réfrigérants, imperméabilisants textiles, agents anti-graisse dans les emballages alimentaires, tensioactifs dans les produits de nettoyage industriels, etc. (OCDE, 2022 in Fiche n°8-SFSE, 2023). Etant donné leurs propriétés hydro-oléofuges, ces substances sont utilisées dans les surfaces antiadhésives pour les ustensiles et batteries de cuisine, les emballages alimentaires, le traitement antitache 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).

Les PFAS sont utilisés dans un grand nombre de secteurs industriels comme l'industrie des semi-conducteurs et des composants électroniques, l'aérospatiale et l'aviation, l'industrie du textile et du cuir, les matériaux de construction, mais aussi l'industrie automobile qui fait partie des principaux utilisateurs de PFAS entre autres pour la carrosserie (utilisés pour la durabilité de la peinture et l'allègement du véhicule), les liquides de lave-glace et de refroidissement, les composants du moteur ou de la direction, les plaquettes de freins, les composants électroniques, etc. (Buslon *et al.*, 2023 ; Glüge *et al.*, 2020).

Les usages du PFOS, du PFOA, du PFHxS ont été réduits suite à leur classification en tant que polluant organique persistant (POP) selon la Convention de Stockholm, respectivement en 2009, 2020 et 2022.

En effet, leur liaison 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. 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 s'accumulent dans l'organisme à des niveaux variables selon le composé et sa demi-vie. Leur dosage dans le sang reflète une exposition à long terme.

L'exposition aux PFAS a été reliée à une série d'effets néfastes pour la santé, sans qu'un lien causal ne soit toujours confirmé, comme des maladies de la thyroïde, une augmentation du taux de cholestérol, des effets sur le système immunitaire, la reproduction et la fertilité, des dommages au foie, des cancers du rein et des testicules (ASTDR, 2018 ; EFSA, 2020). Certains PFAS dont le PFOA, le PFNA, le PFDA ou le PFHxS sont inclus dans la liste des substances extrêmement préoccupantes dans le cadre du règlement REACH en raison de leurs propriétés très persistantes, bioaccumulables, toxiques, cancérigènes, mutagènes, et reprotoxiques. Les quatre effets potentiels sur la santé ayant un niveau de preuve jugé suffisant par les National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (NASEM) sont la diminution de la réponse immunitaire à la vaccination, la dyslipidémie, la baisse du poids de naissance et l'augmentation du risque de cancer du rein (NASEM, 2022). Le Centre international de Recherche sur le Cancer (IARC, International Agency for Research on Cancer) classe le PFOA comme un cancérigène possible pour l'homme (Groupe 2B), notamment pour les cancers des reins et des testicules dès 2014 (Benbrahim-Tallaa, 2014). En novembre 2023, le groupe de travail de l'IARC réévalue les effets cancérigènes du PFOA et PFOS et classe le PFOA comme «cancérigène» (Groupe 1) et le PFOS comme «cancérigène possible» (Groupe 2B) (Zahm *et al.* 2024).

Les 19 PFAS recherchés dans les échantillons de sang (sérum) prélevé par ponction veineuse sont :

- PFOA linéaire
- PFOA ramifié
- PFOA total
- PFOS linéaire
- PFOS ramifié
- PFOS total
- PFHxS linéaire
- PFHxS ramifié
- PFHxS total
- PFDoDA
- PFHxA
- PFHpA
- PFHpS
- PFNA
- PFDA
- PFBA
- PFBS
- PFUda
- PFPeA

3.1 Matrice biologique et types de prélèvements

Pour déterminer l'imprégnation en PFAS d'une personne, la mesure dans le sang est la référence. Le prélèvement sanguin par ponction veineuse, c'est-à-dire la prise de sang classique, est privilégié. Elle permet de collecter plusieurs ml de sang. Pour doser les PFAS dans le sang, une quantité minimale de 2 ml est requise. Le prélèvement d'une quantité supérieure permet de refaire l'analyse, le cas échéant (suite, par exemple, à un problème analytique), de conserver la quantité restante en biobanque pour d'éventuels dosages futurs (selon les termes de l'attestation de consentement).

Cependant, les prises de sang chez les jeunes enfants sont parfois difficiles car les veines sont de petite taille et suite au stress et à l'agitation de l'enfant. Dès lors, une méthode alternative de prélèvement sanguin est proposée : le prélèvement sanguin par ponction capillaire au doigt (ou éventuellement du talon). Ce type de prélèvement est une méthode simple et peu invasive qui consiste à effectuer une piqûre transcutanée dans le doigt (ou le talon) afin de prélever une goutte de sang (système identique à celui utilisé par les personnes diabétiques). Cette méthode est souvent moins stressante pour les enfants et peut être réalisée rapidement et en toute sécurité. Ces actes médicaux sont menés par un professionnel de la santé qualifié et spécialement formé.

Le laboratoire en charge du dosage des PFAS dans le cadre de cette étude a mis au point une méthode basée sur une étude américaine (Courtney *et al*, 2023). Des tests de validation de la méthode ont été menés (Eurofins, 2023 ; Delahaye *et al*, 2023). Ainsi, les données d'imprégnation sont disponibles pour 13 PFAS lors d'un prélèvement sanguin par piqûre dans le doigt.

Les 13 PFAS recherchés dans les échantillons de sang (sérum) prélevé par ponction capillaire au doigt sont :

- PFOA linéaire
- PFOA ramifié
- PFOA total
- PFOS linéaire
- PFOS ramifié
- PFOS total
- PFHxS linéaire
- PFHxS ramifié
- PFHxS total
- PFNA
- PFDA
- PFUnDA
- PFHpS

3.2 Valeurs de référence d'exposition wallonnes

Depuis mai 2023, via le programme BMH-Wal, la Wallonie dispose de valeurs de référence d'exposition en population générale pour 7 PFAS pour les nouveau-nés, les adolescents (12-19 ans), les adultes (20-39 ans). La phase 3 du programme BMH-Wal concernant les adultes de 40 à 59 ans est en cours. Cependant, les données relatives aux PFAS sont déjà disponibles bien que non encore publiées. Elles seront également utilisées dans cette étude. Le Tableau 1 reprend les valeurs de référence, VR95, ainsi que les percentiles (P50, médiane) qui sont utilisées pour la comparaison avec les imprégnations mesurées chez les populations étudiées dans le projet BMH-PFAS.

Tableau 1: PFAS : valeurs de référence d'exposition, P50 & VR95, des catégories d'âge '12-19 ans' et '20-39 ans' (2019-2020), et '40-59 ans' (2023). Wallonie

PFAS (µg/l) - Sang	12-19 ans		20-39 ans		40-59 ans	
	P50	VR95	P50	VR95	P50	VR95
PFHxA	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
PFHpA	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
PFHxS linéaire	0.45	1.6	0.60	1.6	0.79	2.0
PFOA linéaire	1.12	2.0	1.12	2.0	1.06	2.5
PFNA	0.28	0.71	0.35	0.71	0.40	0.97
PFOS linéaire	1.66	6.6	1.96	6.6	2.51	8.6
PFDA	0.16	0.43	0.16	0.43	0.17	0.49

Les statistiques descriptives de la population wallonne (3 catégories d'âge) sont présentées dans le Tableau 2. Pour chacun des 7 PFAS, dosés dans BMH-Wal, le nombre de participants (N), la limite de quantification (LOQ) et le pourcentage de valeurs inférieures à la limite de quantification (N<LOQ), le minimum, le maximum, la moyenne géométrique (MG) et son intervalle de confiance à 95%, les percentiles P5, P25, P50, P75, P95 et son intervalle de confiance à 95% ont été déterminés. Les p-value des tests Mann-Whitney sont également indiqués, à titre indicatif. La différence a été jugée significative pour $p < 0.05$ et notée en gras dans le tableau.

Tableau 2: Statistiques descriptives des PFAS dans le sang - Population wallonne (BMH-Wal) – par catégories d'âge (12-19 ans, 20-39 ans, 40-59 ans) et par sexe

Catégorie d'âge	Genre	N	LOQ	N<LOQ	Min-Max	MG	P5	P25	P50	P75	P90	P95	p-value
						[95% CI]						[95% CI]	
PFOS linéaire (µg/L)													
12-19 ans	F	137	0,5	2,2%	<0,5-17,19	1,62 [1,28-1,96]	0,57	1,02	1,59	2,48	3,85	4,78 [3,98-12,69]	0,148
	H	139	0,5	2,9%	<0,5-69,72	1,88 [1,49-2,27]	0,58	1,09	1,71	2,96	5,61	7,36 [5,8-14,71]	
20-39 ans	F	152	0,5	3,3%	<0,5-17,62	1,86 [1,53-2,20]	0,53	1,34	1,94	2,74	4,23	5,26 [4,53-11,63]	0,676
	H	103	0,5	2,9%	<0,5-39,06	1,97 [1,54-2,40]	0,59	1,31	1,99	2,83	4,60	8,32 [4,84-11]	
40-59 ans	F	157	0,5	5,1%	<0,5-26,22	2,04 [1,68-2,39]	<0,5	1,33	2,09	3,47	5,19	6,55 [5,44-10,93]	0,001
	H	145	0,5	1,4%	<0,5-12,64	2,8 [2,46-3,14]	0,81	1,74	2,83	4,26	7,26	9,52 [7,49-11,36]	
PFOA linéaire (µg/L)													
12-19 ans	F	137	0,5	0,7%	<0,5-5,07	1,02 [0,77-1,28]	0,59	0,81	0,99	1,23	1,63	1,91 [1,66-3,27]	<0,0001
	H	139	0,5	0%	0,58-4,26	1,24 [1,00-1,47]	0,74	1,01	1,18	1,45	1,84	2,2 [1,88-3,16]	
20-39 ans	F	152	0,5	11,8%	<0,5-4,07	0,92 [0,63-1,22]	<0,5	0,71	0,98	1,36	1,76	2 [1,84-2,93]	<0,0001
	H	103	0,5	4,9%	<0,5-4,33	1,22 [0,90-1,55]	<0,5	0,97	1,30	1,64	1,96	2,38 [2,01-3,49]	
40-59 ans	F	157	0,5	11,5%	<0,5-11,16	0,92 [0,62-1,23]	<0,5	0,68	0,96	1,30	1,92	2,42 [2,16-3,58]	0,004
	H	145	0,5	11,7%	<0,5-5,9	1,08 [0,75-1,41]	<0,5	0,80	1,18	1,67	2,15	2,83 [2,29-3,66]	
PFHxS linéaire (µg/L)													
12-19 ans	F	137	0,2	0%	<0,15-19,58	0,41 [<0,15-0,73]	0,19	0,28	0,37	0,52	0,76	1,19 [0,81-2,39]	<0,0001
	H	139	0,2	0%	0,22-14,23	0,62 [0,28-0,97]	0,27	0,41	0,51	0,84	1,47	2,02 [1,55-10,78]	
20-39 ans	F	152	0,2	2,6%	<0,15-9,3	0,52 [0,21-0,83]	0,19	0,36	0,52	0,82	1,04	1,42 [1,13-2,13]	<0,0001
	H	103	0,2	1,9%	<0,15-8,23	0,69 [0,33-1,06]	0,22	0,55	0,70	0,91	1,29	1,73 [1,3-3,33]	
40-59 ans	F	157	0,2	5,1%	<0,15-4,14	0,58 [0,25-0,90]	<0,15	0,38	0,61	0,94	1,31	1,74 [1,33-2,21]	<0,0001
	H	145	0,2	2,1%	<0,15-4,98	0,9 [0,58-1,23]	0,28	0,65	1,02	1,33	1,75	2,23 [1,80-3,35]	
PFNA (µg/L)													
12-19 ans	F	137	0,1	2,9%	<0,1-1,37	0,26 [<0,1-0,55]	0,11	0,19	0,26	0,37	0,52	0,67 [0,54-0,75]	0,007
	H	139	0,1	1,4%	<0,1-1,3	0,31 [<0,1-0,58]	0,14	0,23	0,29	0,41	0,50	0,64 [0,51-1,10]	
20-39 ans	F	152	0,1	5,3%	<0,1-1,57	0,32 [<0,1-0,62]	<0,10	0,24	0,34	0,46	0,66	0,75 [0,68-1,35]	0,487
	H	103	0,1	2,9%	<0,1-1,13	0,33 [<0,1-0,68]	0,12	0,24	0,37	0,46	0,58	0,71 [0,60-1,04]	
40-59 ans	F	157	0,1	3,8%	<0,1-2,12	0,36 [<0,1-0,67]	0,11	0,26	0,39	0,52	0,72	0,99 [0,87-1,34]	0,398
	H	145	0,1	1,4%	<0,1-1,3	0,39 [0,10-0,68]	0,16	0,27	0,39	0,53	0,75	0,95 [0,76-1,22]	
PFDA (µg/L)													
12-19 ans	F	137	0,1	21,2%	<0,1-11,74	0,14 [<0,1-0,51]	<0,10	0,10	0,15	0,21	0,30	0,39 [0,34-0,52]	0,114
	H	139	0,1	18%	<0,1-0,96	0,16 [<0,1-0,5]	<0,10	0,11	0,16	0,26	0,36	0,49 [0,36-0,86]	
20-39 ans	F	152	0,1	18,4%	<0,1-1,11	0,17 [<0,1-0,49]	<0,10	0,13	0,19	0,27	0,35	0,43 [0,36-0,69]	0,089
	H	103	0,1	30,1%	<0,1-0,74	0,14 [<0,1-0,56]	<0,10	<0,1	0,17	0,25	0,32	0,4 [0,33-0,73]	
40-59 ans	F	157	0,1	21%	<0,1-8,45	0,17 [<0,1-0,53]	<0,10	0,11	0,17	0,28	0,40	0,54 [0,45-1,21]	0,421
	H	145	0,1	22,8%	<0,1-0,72	0,15 [<0,1-0,49]	<0,10	0,11	0,17	0,24	0,36	0,42 [0,39-0,58]	
PFHpA (µg/L)													
12-19 ans	F	137	0,1	92%	<0,1-0,25	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,11 [<0,10-0,25]	0,156
	H	139	0,1	87,1%	<0,1-0,94	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,15 [0,12-0,34]	
20-39 ans	F	152	0,1	96,1%	<0,1-0,54				<0,10				
	H	103	0,1	100%					<0,10				
40-59 ans	F	157	0,1	100%					<0,10				
	H	145	0,1	99,3%					<0,10				
PFHxA													
12-19 ans	F	137	0,1	100%					<0,10				
	H	139	0,1	100%					<0,10				
20-39 ans	F	152	0,1	100%					<0,10				
	H	103	0,1	100%					<0,10				
40-59 ans	F	157	0,1	98,7%					<0,10				
	H	145	0,1	100%					<0,10				

3.3 Valeurs de référence sanitaire

Les valeurs de référence sanitaire (VRS) permettent d'apprécier le risque sanitaire associé à une exposition. Elles sont déterminées par des groupes d'experts à partir des résultats d'études épidémiologiques et/ou toxicologiques. Elles sont fondées sur les informations scientifiques disponibles au moment de leur élaboration et peuvent donc être revues en fonction de l'évolution des connaissances scientifiques. Il existe différents types de VRS et selon leur provenance, elles n'ont pas exactement la même signification.

Les valeurs HBM sont des VRS proposées par la Commission Nationale de Biomonitoring allemande. Elles sont dérivées au départ de données épidémiologiques ou toxicologiques selon des méthodes scientifiques clairement décrites et sont actualisées régulièrement en fonction de l'évolution des connaissances. Les valeurs HBM sont établies pour la population générale, pour une exposition vie entière à la concentration correspondante ou pour des groupes de population ou des périodes de vie (femmes en âge de procréer, enfants, ados, etc.).

Il existe deux niveaux de valeurs HBM : les valeurs HBM I et les valeurs HBM II. Elles peuvent être utilisées pour interpréter des données individuelles et déterminent le besoin d'action. Elles sont définies de la manière suivante (Apel *et al*, 2017) :

- HBM I : concentration d'une substance dans une matrice biologique à laquelle et en dessous de laquelle, compte tenu des connaissances actuelles, il n'y a pas de risque d'effets néfastes sur la santé et par conséquent pas de nécessité d'action ;
- HBM II : concentration d'une substance dans une matrice biologique à laquelle et au-dessus de laquelle des effets néfastes sont possible. Des conseils pour réduire l'exposition sont nécessaires ainsi qu'un avis médical.

Pour les niveaux de concentration situés entre les valeurs HBM I et HBM II, les effets néfastes ne peuvent être exclus avec suffisamment de certitude. La valeur HBM-I est considérée comme une valeur de vérification (contrôle) et la valeur HBM-II comme un niveau d'action³. Des valeurs HBM existent pour l'acide perfluorooctanoïque (PFOA), l'acide perfluorooctanesulfonique (PFOS) dans le sang.

Les experts du Conseil Scientifique Indépendant PFAS⁴ (CSI) ont retenu, mi-avril 2024, des valeurs-seuils santé en lien avec l'exposition humaine aux PFAS, basées sur les meilleures références scientifiques actuelles (Tableau 3). Comme convenu avec l'autorité, l'ISSeP a utilisé ces valeurs-seuils santé pour le présent rapport. Ils recommandent d'utiliser les valeurs de référence définies par les National Academies of Sciences (NAS) (NASEM, 2022), complétées par les valeurs HBM I pour le PFOS et le PFOA définies par la Commission Nationale de Biomonitoring allemande.

Deux valeurs-seuils ont été définies par les NAS pour une somme de 7 PFAS, à savoir l'addition des concentrations en PFOA (linéaire et ramifié), PFOS (linéaire et ramifié), PFHxS, PFNA, PFDA, PFUnDA, MeFOSAA.

Seuils de 'somme PFAS NAS' :

- 2 µg/l
- 20 µg/l

³<https://www.canada.ca/fr/services/sante/publications/science-recherche-et-donnees/equivalents-biosurveillance-outil-evaluation-donnees-echelle-population.html#a421>

⁴ Ce conseil d'experts indépendants a été mis en place, en novembre 2023, par le Gouvernement wallon

Sous 2 µg/l, il n’y pas d’effet néfaste attendu suite à l’exposition aux PFAS. Il existe un risque d’effets indésirables, entre 2 et 20 µg/l, en particulier chez les populations sensibles, et un risque accru d’effets indésirables au-delà de 20 µg/l.

Tableau 3: Valeurs de référence sanitaire utilisées dans l’étude BMH-PFAS (CSI)

Matrice	Substance	Valeur de référence sanitaire [µg/l]		Sources
		HBM I	NASEM	
Sang	PFOA	2		1
	PFOS	5		1
	Somme PFAS NAS*		2 20	2-3

*PFOA (linéaire et ramifié) + PFOS (linéaire et ramifié) + PFHxS + PFNA + PFDA + PFUnDA + MeFOSAA

(1) Apel et al. 2017, (2) Conseil Scientifique PFAS, (3) NASEM, 2022

Au Tableau 4, sont repris les pourcentages, en population wallonne, en deça et au-delà de la valeur HBM I pour le PFOS et le PFOA, par classe d’âge et par sexe. La catégorie la plus âgée, 40-59 ans, présente les taux de dépassements les plus élevés, pouvant atteindre presque 20% de la population masculine âgée de 40 à 59 ans pour le PFOS.

Tableau 4: Pourcentage en population générale wallonne par rapport aux valeurs de référence sanitaire HBM I pour le PFOA et le PFOS – BHM-Wal, 2019-2020 ; 2023

Wallonie	≤ HBM I		> HBM I	
%	Aucun effet sur la santé n’est attendu		Effets néfastes sur la santé à ne pas exclure	
PFOA				
	Femme	Homme	Femme	Homme
12-19 ans	95,6	92,8	4,4	7,2
20-39 ans	94,7	90,3	5,3	9,7
40-59 ans	89,8	86,2	10,2	13,8
PFOS				
	Femme	Homme	Femme	Homme
12-19 ans	95,6	87,8	4,4	12,2
20-39 ans	94,1	92,2	5,9	7,8
40-59 ans	89,2	80,7	10,8	19,3

Avec les données du BMH-Wal, biomonitoring en population générale en Wallonie, la somme NAS calculée est incomplète puisque 2 PFAS n’ont pas été dosés : MeFOSAA et PFUnDA, ainsi que les formes ramifiées du PFOS et PFOA. Les valeurs de la somme PFAS NAS en population générale wallonne sont sous-estimées (Tableau 5). Certains PFAS à prendre en compte n’ont pas ou peu été quantifiés chez tous les individus de la population étudiée. Dès lors, les valeurs manquantes (<LOQ) doivent être remplacées. La méthode d’imputation par la limite haute (=valeur de la LOQ) a été utilisée (worst case).

Tableau 5: Somme PFAS NAS - Pourcentage de participants, par classe d’âge et sexe, selon la valeur de référence sanitaire ‘Somme PFAS NAS’ – Population générale wallonne

Wallonie	Somme PFAS NAS					
%	≤ 2 µg/l		entre 2 et 20 µg/l		> 20 µg/l	
	Femme	Homme	Femme	Homme	Femme	Homme
12-19 ans	8	1,4	90,5	95,7	1,5	2,9
20-39 ans	7,9	2,9	91,4	96,1	0,7	1,0
40-59 ans	8,3	3,4	90,4	96,6	1,3	0,0

4. Zones d'étude et populations cibles

Le projet BMH-PFAS est une étude en population générale, *a priori* plus exposée de par le lieu de résidence proche d'une zone contaminée en PFAS ou desservie par de l'eau de distribution où des dépassements du seuil de 100 ng/l PFAS ont été mesurés.

Le présent rapport concerne uniquement deux zones où un dépassement de la future norme de 100 ng/l sur le réseau de distribution a été observé à un moment donné :

- Zone 'Chièvres'

Parmi les 3 sections de la zone de distribution d'eau, ZDE 1098, la section bleue est alimentée principalement par de l'eau du puits P1 de Chièvres et diluée par celle de l'adduction de la Dendre (source : SWDE). Depuis, la mise en place de différentes mesures de mitigation des risques, notamment l'installation de filtres à charbon actif au château d'eau de Chièvres en avril 2023, a permis de rétablir les niveaux de PFAS en deçà de la future norme de 100 ng/l. Des parties de 5 communes sont desservies par ce réseau : Ath, Beloeil, Chièvres, Jurbise, Leuze-en-Hainaut.

- Zone 'Ronquières'

La zone de distribution d'eau, ZDE 1102, dessert, en partie, les communes de Braine-le-Comte, Ittre, Seneffe. L'eau distribuée provient du Feeder du Hainaut, adduction d'eau de VIVAQUA⁵ qui amène l'eau depuis plusieurs captages hennuyers vers Bruxelles. Cette eau est traitée à l'usine d'Ecaussinnes qui dispose de plusieurs batteries de traitement au charbon actif.

Les périmètres exacts, liste des rues et numéros d'habitations desservies, ont été communiqués à l'équipe-projet par le distributeur d'eau. Pour les zones de Chièvres et Ronquières, il s'agit de la Société wallonne des eaux, SWDE.

Cette étude est ouverte aux **résident.e.s** ayant été desservi.e.s à un moment donné par une eau de consommation ayant dépassé la future norme de 100 ng/l, **quelle que soit la classe d'âge**. Des critères spécifiques peuvent être établis selon la zone.

Chaque participant doit donner son accord de participation écrit à la totalité de l'étude, c'est-à-dire avoir accepté de réaliser le volet enquête par questionnaire, le prélèvement sanguin, les analyses, le stockage des échantillons en biobanque (pour les moins de 18 ans, celui de leurs parents/tuteur légal). De son côté, l'équipe-projet, via cette attestation de consentement, s'engage aussi envers le participant, notamment, sur la confidentialité des données collectées (Règlement général sur la protection des données, RGPD). L'attestation de consentement est signée par toutes les parties.

⁵ Entreprise publique de production et de distribution d'eau – Région bruxelloise

5. Résultats préliminaires

Les principaux résultats préliminaires sont présentés dans ce chapitre, par bassin d'exposition. Un premier set d'analyses statistiques est réalisé avec les données biologiques collectées. Les résultats descriptifs des niveaux d'imprégnation des résidents des zones de Chièvres et de Ronquières sont présentés, ci-après, ainsi qu'une comparaison avec les valeurs de référence d'exposition wallonnes, issues du programme BMH-Wal. Les résultats collectifs sont aussi comparés aux valeurs de référence sanitaires préconisées par le CSI. Enfin, cette première analyse et interprétation des résultats met en perspective le profil PFAS de l'eau de distribution avec les profils d'imprégnation en PFAS des populations.

Le traitement des *données d'imprégnation* et les analyses statistiques sont basés sur la méthodologie élaborée dans le programme BMH-Wal (Jacques *et al*, 2023d). Une analyse descriptive des biomarqueurs recherchés est faite. La moyenne géométrique, le pourcentage de valeurs inférieures à la limite de quantification (LOQ), les minimum-maximum et les percentiles 5, 25, 50, 75 et 95 sont déterminés dans un logiciel tableur. L'analyse des valeurs d'imprégnation des résidents des zones étudiées (Chièvres et Ronquières) en regard des valeurs de référence wallonnes disponibles (voir 0, p.10) est réalisée sur base de deux traitements statistiques. Les tests de Mann-Whitney sont réalisés pour déterminer s'il existe une différence de distribution des valeurs entre les populations d'intérêt et le Z-test à une proportion sur les P95 pour établir la surexposition éventuelle. Le but de ces analyses est d'établir s'il y a des différences statistiquement significatives entre les imprégnations en PFAS de la population générale wallonne et des habitants des zones de Chièvres et de Ronquières. La différence a été jugée significative pour $p < 0.05$ pour le test Mann-Whitney et $p < 0.001$ pour le Z-test. Les p-values sont indiquées dans les tableaux en gras si la différence est significative. Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel XLStat (Addinsoft, 2022).

Il s'agit d'une première phase d'exploitation des nombreuses données collectées dans cette étude. Une seconde phase poussera plus loin les analyses des données, entre autres, en utilisant les informations collectées par le questionnaire d'enquête complété par les participants.

5.1 Zone 'Chièvres'

5.1.1 Description de la population testée

La campagne d'information des citoyens de la zone de Chièvres a été lancée en décembre 2023. Des parties de cinq communes hennuyères étaient concernées : Ath, Beloeil, Chièvres, Jurbise, Leuze-en-Hainaut. Les séances de prélèvements sanguins ont eu lieu entre janvier et mars 2024. Au total, sur la zone de Chièvres, 1836⁶ résident.e.s ont participé, soit 15 % de l'effectif maximal potentiel.

Toute la population résidant dans la zone de Chièvres était invitée à participer, quel que soit l'âge. Le choix des catégories d'âge suit celui du programme wallon de biomonitoring humain, BMH-Wal. Le Tableau 6 présente la répartition de la population échantillonnée par la catégorie d'âge. Globalement, le rapport femme/homme est relativement équilibré, excepté pour la catégorie d'âge 20-39 ans parmi laquelle plus de femmes ont participé à l'étude (

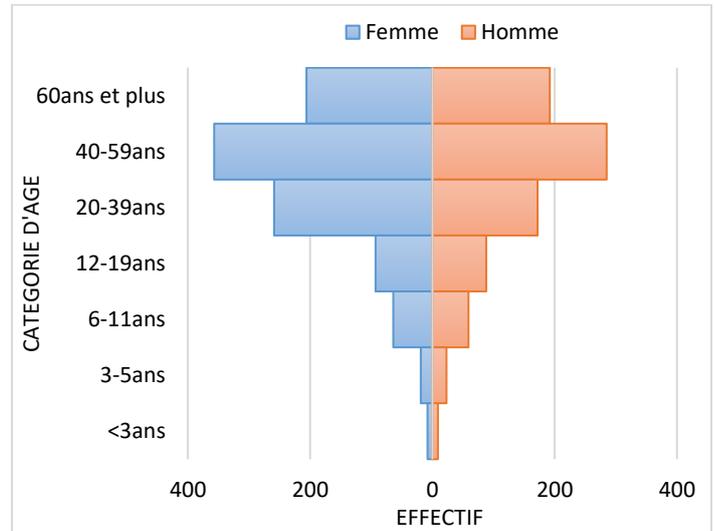
⁶ Parmi les 1836 échantillons prélevés, 2 n'ont pas pu être analysés par le laboratoire par manque de matière

Figure 1). Les catégories d'âge '20-39 ans', '40-59 ans' et '60 ans et plus' comprennent les plus grands effectifs.

Tableau 6: Répartition selon le genre, par catégorie d'âge – Zone de Chièvres

Catégorie d'âge	Femme	Homme
<3ans N=17	47,1%	52,9%
3-5ans N=42	45,2%	54,8%
6-11ans N=123	52,0%	48,0%
12-19ans N=181	51,4%	48,6%
20-39ans N=431	60,1%	39,9%
40-59ans N=642	55,6%	44,4%
≥60ans N=385	51,8%	48,2%

Figure 1: Pyramide des âges des participants de la zone de Chièvres



5.1.2 Imprégnation en PFAS des résidents de la zone étudiée

Ce sous-chapitre présente les résultats du dosage des PFAS recherchés dans le sang des participants de la zone de Chièvres. Les fréquences de quantification (%N>LOQ) et de non-quantification (%N<LOQ) sont reprises dans le Tableau 7. Sur les 19 PFAS analysés, 6 sont peu ou pas retrouvés dans le sang des habitants de la zone de Chièvres, quel que soit l'âge (%N>LOQ entre 0 et quelques %). A l'opposé, 7 PFAS sont retrouvés chez presque tous les participants, des plus jeunes aux plus âgés (%N>LOQ supérieur à 95%, voire égal à 100%). Il s'agit du PFOA (linéaire et total), du PFHxS (linéaire, ramifié et total), PFOS (linéaire, ramifié et total) dans toutes les catégories d'âge. Le PFHxS présente, néanmoins, des fréquences de quantification plus basses. Le PFNA, le PFDA et le PFHpS sont également retrouvés dans la plupart des échantillons.

Le PFOS, le PFOA et le PFHxS sont les PFAS les plus retrouvés dans le sang des participants de l'étude BMH-PFAS pour la zone de Chièvres (fréquences de quantification élevées). Ensuite, viennent les PFNA, le PFHpS et le PFDA. Les histogrammes de figures suivantes illustrent la distribution de ces PFAS par classes d'âge.

Toutes les statistiques descriptives, pour les 19 PFAS par catégorie d'âge et selon le genre, sont reprises en annexe. Ces tableaux comprennent, pour chaque PFAS, la moyenne géométrique, le pourcentage de valeurs inférieures à la limite de quantification (LOQ), les min-max et les percentiles 5, 25, 50, 75 et 95, en fonction de la classe d'âge et du sexe.

Cat.âge	N		PFBA	PFPeA	PFHxA	PFHpA	PFOA ramifié	PFOA linéaire	PFOA total	PFNA	PFDA	PFUnDA	PFDoDA	PFBS	PFHxS ramifié	PFHxS linéaire	PFHxS total	PFHpS	PFOS ramifié	PFOS linéaire	PFOS total
<3ans	17	% N>LOQ	0,00	0,00	0,00	62,50	23,53	100	100	53	12	6	12	0,00	65	100	100	41,18	100	100	100
3-5ans	42	% N>LOQ	0,00	0,00	0,00	16,13	9,52	100	100	71,4	21,4 3	2,38	0,00	0,00	50,00	100	100	35,7	100	100	100
6-11ans	123	% N>LOQ	0,00	0,00	0,00	8,47	13,01	100	100	88,6	60,2	13,01	2,54	0,00	58,54	100	100	56,91	100	100	100
12-19ans	181	% N>LOQ	0,55	0,00	0,00	3,31	7,73	100	100	72,4	39	8,84	1,66	0,00	47,51	100	100	41,44	100	100	100
20-39ans	431	% N>LOQ	0,93	0,00	0,00	1,62	5,10	99,30	99,30	80,8	42,4 6	11,14	1,39	0,00	51,51	99,5	99,5	55,45	99,54	100	100
40-59ans	642	% N>LOQ	1,87	0,31	0,31	4,83	12,93	99,38	99,4	91,1	58,4 1	22,74	1,56	0,31	75,39	99,69	99,69	82,55	99,53	99,53	99,53
>60ans	398	% N>LOQ	3,27	0,00	0,25	13,57	25,63	99	99	95,5	72,6	32,9	2,8	0,00	93,2	99,3	99,3	95	99,2	99,50	99,50

vert: Fréquence de quantification > 40%

Les PFAS indiqués en gras sont les PFAS analysés dans le programme BMH-Wal

Tableau 7: Fréquences de quantification des PFAS dosés – Zone de Chièvres

Les figures ci-dessous (Figure 2, Figure 3, Figure 4, Figure 5, Figure 6, Figure 7) présentent les distributions des concentrations des PFAS les plus quantifiés (fréquence de quantification > 40%) par classes d'âge pour la zone de Chièvres. Sur chaque graphique sont repris la moyenne géométrique (MG) et les percentiles (P5-25-50-75-95).

Les enfants et les adolescents sont, généralement, moins contaminés que les adultes. Cette augmentation de la concentration sérique avec l'âge a déjà été rapportée dans de nombreuses études (Bjeremo et al., 2013 ; Ingelido et al., 2010 ; Pirard et al., 2020). Dans le panel de participants de BMH-PFAS, on constate cependant des imprégnations plus élevées chez les jeunes enfants pour certains PFAS (dont le PFOA).

Le sous-chapitre suivant (5.1.2) aborde succinctement les différences selon le genre.

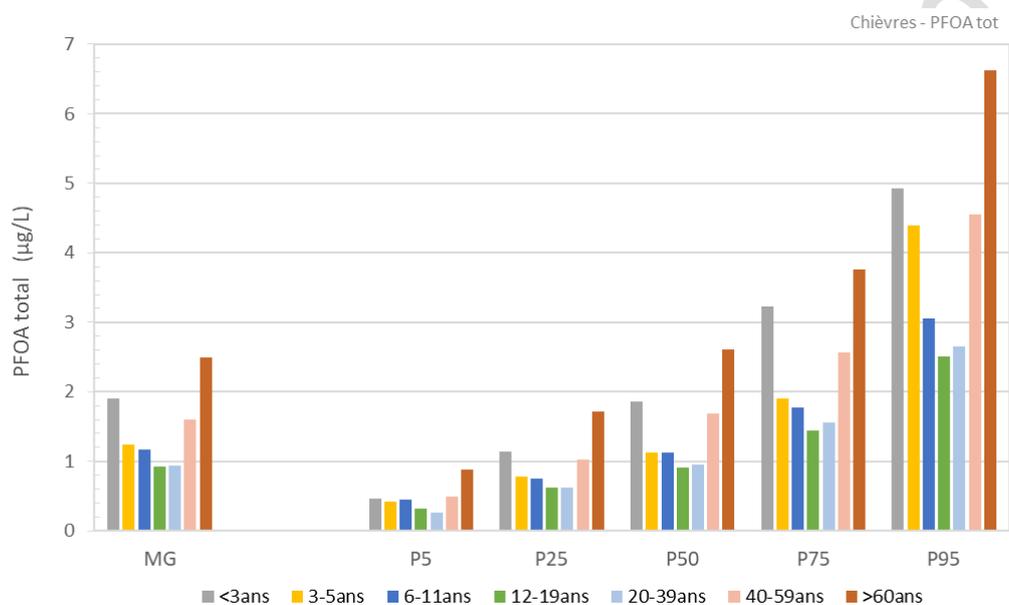


Figure 2: Distribution des concentrations en PFOA total, par catégories d'âge - Zone de Chièvres

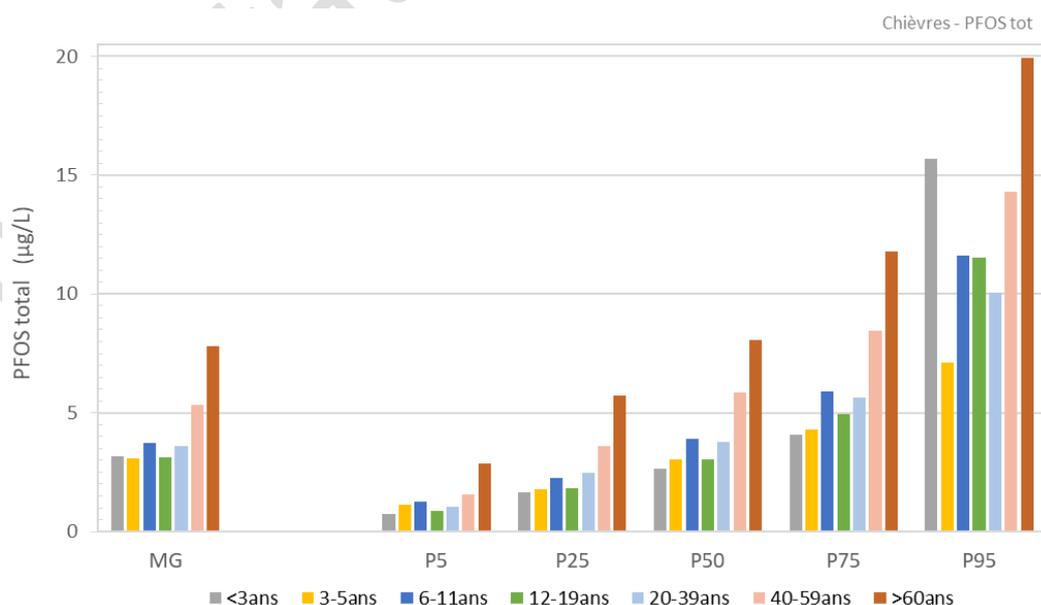


Figure 3: Distribution des concentrations en PFOS total, par catégories d'âge - Zone de Chièvres

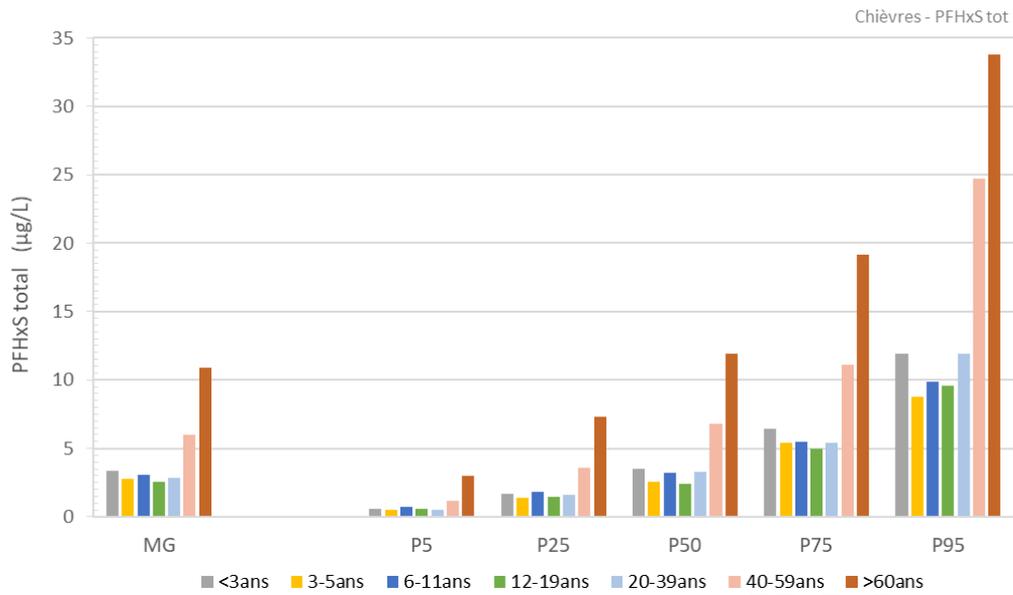


Figure 4: Distribution des concentrations en PFHxS total, par catégories d'âge - Zone de Chièvres

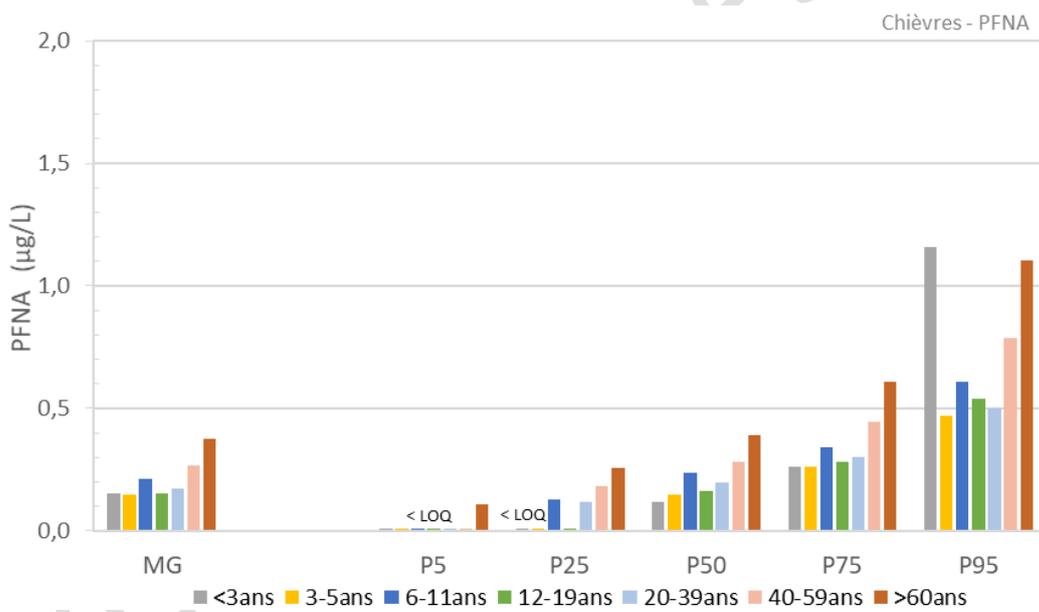


Figure 5: Distribution des concentrations en PFNA, par catégories d'âge - Zone de Chièvres

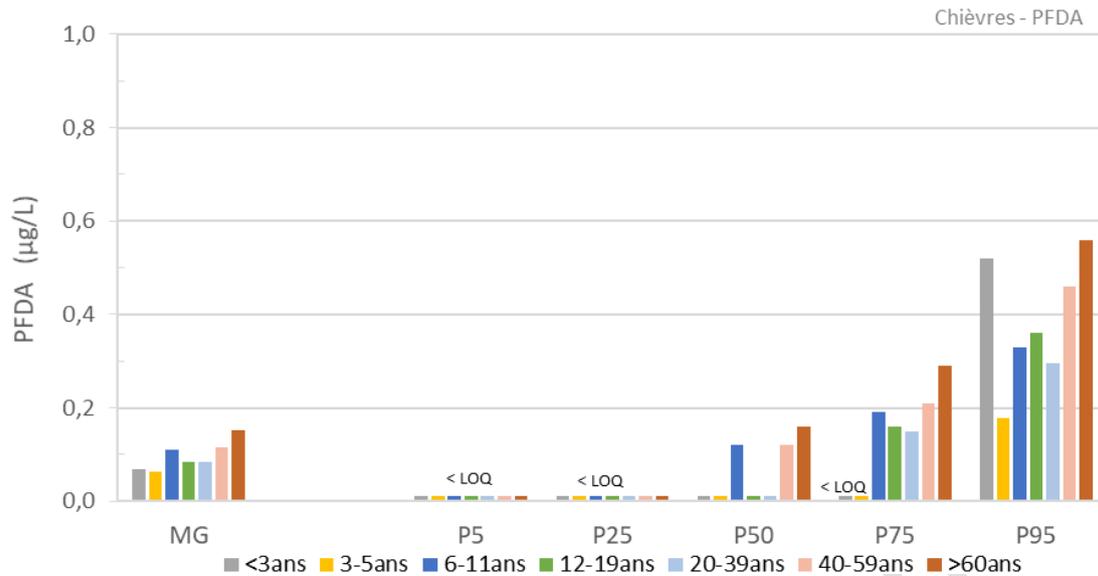


Figure 6: Distribution des concentrations en PFDA, par catégories d'âge - Zone de Chièvres

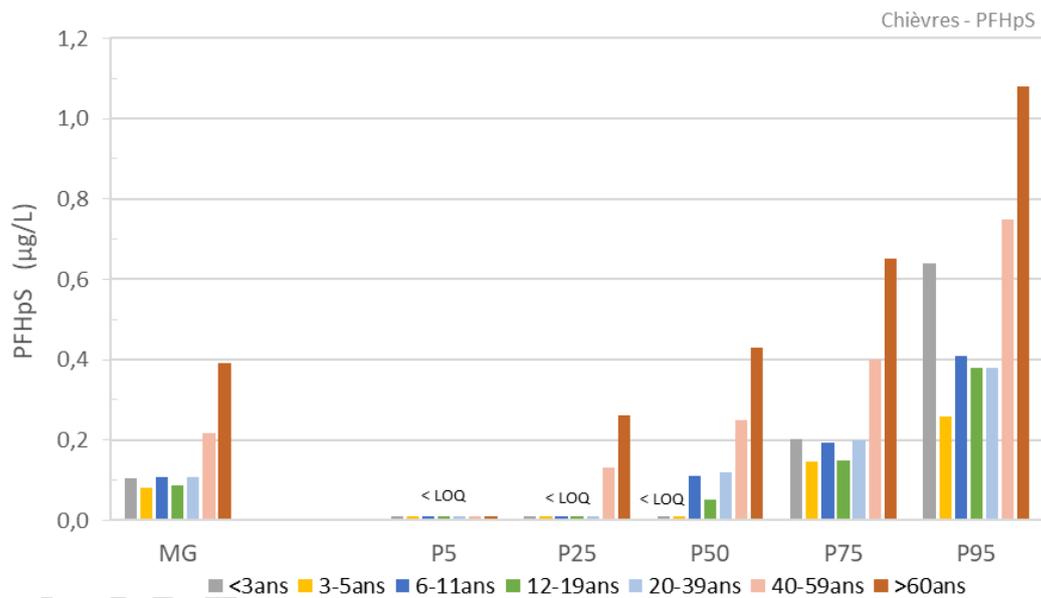


Figure 7: Distribution des concentrations en PFHpS, par catégories d'âge - Zone de Chièvres

Comparaison avec les valeurs de référence sanitaire

L'évaluation du risque sanitaire associé à l'exposition aux PFAS est basée sur l'utilisation de la somme PFAS NAS retenue par le Conseil Scientifique PFAS. Dans le cadre de ce biomonitoring, le calcul de cette somme PFAS NAS est incomplet puisque parmi les PFAS, 1 n'est pas dosé : MeFOSAA. Certains PFAS à prendre en compte n'ont pas ou peu été quantifiés dans la population étudiée. Dès lors, les valeurs manquantes (<LOQ) doivent être remplacées. La méthode d'imputation par la limite haute (=valeur de la LOQ) a été utilisée (worst case).

La Figure 8 donne la répartition par ordre croissant des sommes PFAS NAS de l'ensemble des participants de la zone de Chièvres. Tout âge confondu, hommes et femmes, 1.9 % des participants ne dépassent pas le seuil de 2 µg/l, 69.3 % se situent entre 2 et 20 µg/l, 28.8 % sont au-delà du seuil de 20 µg/l (Figure 8). La somme PFAS NAS maximale observée parmi les participants de la zone de Chièvres est de 99,83 µg/l. Selon la catégorie d'âge et le sexe observé, entre 92.5% et 100% des habitants de la zone de Chièvres ayant participé au projet dépassent le seuil de 2 µg/l ; entre 0% et 68% dépassent le seuil de 20 µg/l (Tableau 8). Les pourcentages de dépassements sont les plus élevés après 40 ans, et surtout après 60 ans. Pour rappel, sous 2 µg/l, il n'y pas d'effet néfaste attendu suite à l'exposition aux PFAS. Il existe un risque d'effets indésirables, entre 2 et 20 µg/l, en particulier chez les populations sensibles, et un risque accru d'effets indésirables au-delà de 20 µg/l.

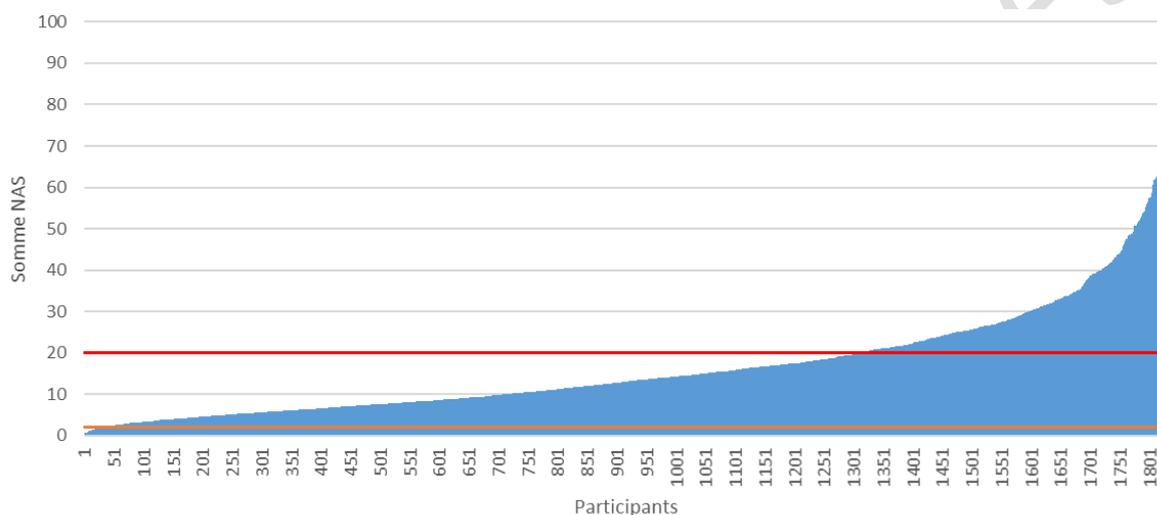


Figure 8: Histogramme des sommes NAS classées par ordre croissant – Zone de Chièvres

Tableau 8: Somme PFAS NAS - Pourcentage de participants, par classe d'âge et sexe, selon la valeur de référence sanitaire 'Somme PFAS NAS' – Zone de Chièvres

Chièvres	Somme PFAS NAS					
	≤ 2 µg/l		entre 2 et 20 µg/l		> 20 µg/l	
	Femme	Homme	Femme	Homme	Femme	Homme
%						
<3 ans	0 %	0 %	87,5%	100,0%	12,5%	0 %
3-5 ans	0 %	0 %	89,5%	95,7%	10,5%	4,3%
6-11 ans	1,6%	0,0%	93,8%	88,1%	4,7%	11,9%
12-19 ans	7,5%	1,1%	84,9%	88,6%	7,5%	10,2%
20-39 ans	5,4%	0 %	88,8%	86,6%	5,8%	13,4%
40-59 ans	2,2%	0 %	73,1%	57,5%	24,6%	42,5%
≥ 60 ans	1,5%	0,5%	39,8%	31,8%	58,7%	67,7%

Le Tableau 9 présente les dépassements de la valeur de référence sanitaire HBM I pour le PFOS et le PFOA, observés dans la population de la zone de Chièvres, par âge et par genre. Globalement, les pourcentages de dépassements augmentent avec l'âge et sont plus fréquents chez les hommes.

Tableau 9: Pourcentage de participants, par classe d'âge et sexe, par rapport à la valeur de référence sanitaire HBM I pour le PFOA et le PFOS – Zone de Chièvres

Chièvres	≤ HBM I		> HBM I	
%	Aucun effet sur la santé n'est attendu		Effets néfastes sur la santé à ne pas exclure	
PFOA				
	Femme	Homme	Femme	Homme
<3 ans	25,0%	66,7%	75,0%	33,3%
3-5 ans	84,2%	69,6%	15,8%	30,4%
6-11 ans	87,5%	79,7%	12,5%	20,3%
12-19 ans	86,0%	87,5%	14,0%	12,5%
20-39 ans	91,9%	79,1%	8,1%	20,9%
40-59 ans	65,8%	55,1%	34,2%	44,9%
≥ 60 ans	37,4%	27,6%	62,6%	72,4%
PFOS				
	Femme	Homme	Femme	Homme
<3 ans	75,0%	88,9%	25,0%	11,1%
3-5 ans	89,5%	100,0%	10,5%	0,0%
6-11 ans	85,9%	79,7%	14,1%	20,3%
12-19 ans	87,1%	86,4%	12,9%	13,6%
20-39 ans	89,2%	84,9%	10,8%	15,1%
40-59 ans	75,9%	70,5%	24,1%	29,5%
≥ 60 ans	59,2%	57,3%	40,8%	42,7%

5.1.3 Comparaison avec la population générale wallonne

Pour rappel, la comparaison des imprégnations en PFAS entre les résidents de la zone de Chièvres et la population générale wallonne, a priori non (sur)exposée, est menée pour 3 catégories d'âge : les adolescents de 12-19 ans, les adultes de 20-39 ans et les adultes de 40-59 ans. Cette comparaison tient compte également du genre, étant donné que des différences statistiquement significatives sont observées (Tableau 2, p.11).

L'analyse des valeurs d'imprégnation des habitants de la zone de Chièvres en regard des valeurs de référence wallonnes est réalisée sur base de traitements statistiques (voir introduction du chapitre 5, p.15). Les tests statistiques sont réalisés sur les données d'imprégnation de 6 PFAS, le PFHxA n'ayant pas été quantifié dans la population wallonne (Jacques et al, 2023c).

Des différences dans les imprégnations entre les habitants de la zone de Chièvres et la population wallonne (pour une ou plusieurs des 3 classes d'âge comparées) sont statistiquement significatives pour plusieurs PFAS. Elles sont signalées en gras dans les tableaux suivants (Tableau 10, Tableau 11). Il s'agit du PFOA, du PFHxS, du PFOS et du PFNA.

Ces différences peuvent être soit une imprégnation plus marquée soit une imprégnation moins marquée de la population de la zone de Chièvres par rapport à la population wallonne.

Bien que inférieures au seuil de significativité, les p-value des comparaisons du PFDA et du PFHpA ne sont pas indiquées en gras. Le taux de détection est assez faible que cela soit en population wallonne ou dans la zone étudiée. Les percentiles et la moyenne géométrique ne sont pas très représentatifs.

Tableau 10: Comparaison des imprégnations entre les résidents de la zone de Chièvres et la population wallonne, par catégorie d'âge, par sexe à l'aide du test de Mann-Whitney ($p < 0.05$)

Femme				Homme			
	12-19 ans	20-39 ans	40-59 ans		12-19 ans	20-39 ans	40-59 ans
PFHpA	0,148	0,126	0,007	PFHpA	0,013	0,180	0,018
PFOA linéaire	0,002	0,005	<0,0001	PFOA linéaire	0,007	0,851	<0,0001
PFNA	<0,0001	<0,0001	<0,0001	PFNA	<0,0001	<0,0001	<0,0001
PFDA	<0,0001	<0,0001	<0,0001	PFDA	<0,0001	<0,0001	0,001
PFHxS	<0,0001	<0,0001	<0,0001	PFHxS	<0,0001	<0,0001	<0,0001
PFOS linéaire	0,096	0,108	<0,0001	PFOS linéaire	0,059	0,0002	0,003

Tableau 11: Comparaison des imprégnations entre les résidents de la zone de Chièvres et la population wallonne, par catégorie d'âge, par sexe à l'aide d'un Z-test à une proportion ($p < 0.001$)

Femme				Homme			
	12-19 ans	20-39 ans	40-59 ans		12-19 ans	20-39 ans	40-59 ans
PFHpA	0,646	0,907	0,0001	PFHpA	0,987	0,166	0,003
PFOA linéaire	0,015	0,175	<0,0001	PFOA linéaire	0,191	0,247	<0,0001
PFNA	0,803	0,913	0,894	PFNA	0,603	0,9	0,906
PFDA	0,445	0,913	0,689	PFDA	0,603	0,791	0,225
PFHxS	<0,0001	<0,0001	<0,0001	PFHxS	<0,0001	<0,0001	<0,0001
PFOS linéaire	0,041	0,111	0,0002	PFOS linéaire	0,5	0,855	0,453

Les Figure 9 à Figure 20, ci-dessous, présentent, sous forme de graphique, les comparaisons entre les concentrations mesurées dans le sang des résidents de la zone de Chièvres et la population wallonne pour les 3 catégories d'âge considérées, pour les PFAS où des différences significatives sont observées. Sur chaque graphique sont repris la moyenne géométrique (MG), les percentiles (P50 et P95), en fonction du sexe. Un astérisque, indiquant que le seuil de significativité est atteint (p-value), est placé en regard de la zone qui présente les imprégnations les plus élevées (différence statistiquement significative).

Quelle que soit la catégorie d'âge et le sexe, la population de la zone de Chièvres est significativement plus imprégnée que la population wallonne en PFHxS linéaire, 4.3 à 8.7 fois plus selon l'âge (rapport des moyennes géométriques). Elle est aussi plus imprégnée en PFOS linéaire, de 1.1 à 1.4 fois plus. Mais ces imprégnations plus fortes sont jugées significatives uniquement pour les 40-59 ans, et les hommes de 20 à 39 ans. Les femmes et les hommes âgés de 40 à 59 ans vivant dans la zone de Chièvres sont plus imprégnés en PFOA linéaire (de l'ordre de 1.5 à 1.7 fois plus) que la population wallonne. Par contre, pour ce même PFAS, les autres catégories d'âge, hommes et femmes sont, significativement, moins imprégnés que la population wallonne. Il en est de même pour le PFNA. Les résidents de la zone de Chièvres, tout âge, homme et femme, sont, jusqu'à 2 fois moins imprégnés que la population wallonne. Dans l'analyse comparative avec les données du programme BMH-Wal (population générale

wallonne), il faut aussi prendre en considération différents éléments : périodes d'échantillonnage différentes, laboratoires d'analyses différents, caractéristiques des populations étudiées. Pour ce dernier point, l'exploitation des variables du questionnaire pourra apporter des éléments de réponses. Des analyses plus approfondies, telles que des analyses multivariées faisant intervenir de multiples variables explicatives, permettraient d'obtenir des modèles explicatifs plus précis et pertinents pour la recherche de déterminants d'imprégnation.

Au sein de la population étudiée dans la zone de Chièvres, les concentrations en PFHxS, PFOA, PFOS et PFNA sont généralement plus basses chez les femmes vs les hommes, ce qui rejoint les résultats d'autres études (Bartolomé et al., 2017 ; Bjerme et al., 2013 ; Schoeters et al., 2022 ; Ingelido et al., 2010 ; Pirard et al., 2020). L'allaitement et les menstruations seraient des voies d'élimination supplémentaire des PFAS chez les femmes (Bjerme et al., 2013 ; Pirard et al., 2020).

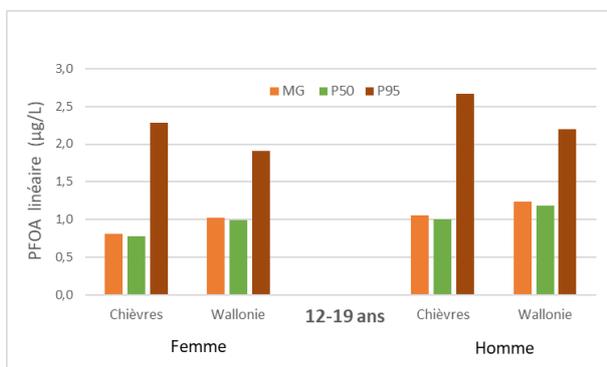


Figure 9: Comparaison des concentrations en PFOA linéaire mesurées dans le sang des adolescents wallons et des adolescents de la zone de Chièvres, selon le genre

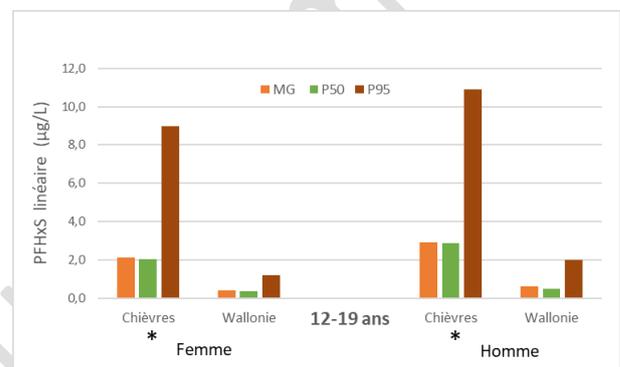


Figure 11: Comparaison des concentrations en PFHxS linéaire mesurées dans le sang des adolescents wallons et des adolescents de la zone de Chièvres, selon le genre

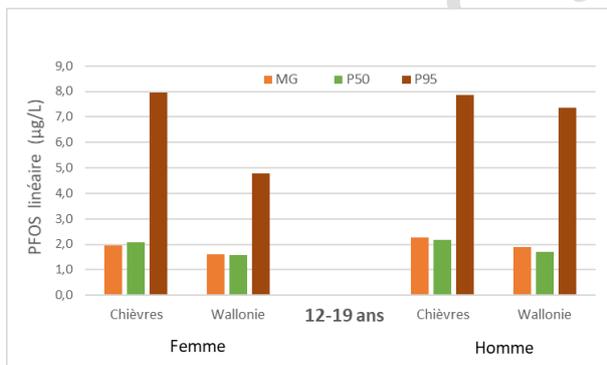


Figure 10: Comparaison des concentrations en PFOS linéaire mesurées dans le sang des adolescents wallons et des adolescents de la zone de Chièvres, selon le genre

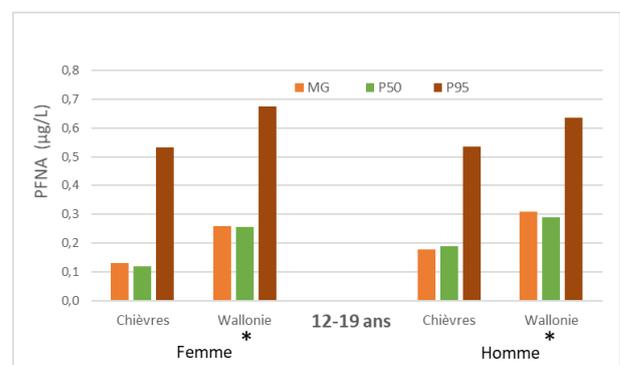


Figure 12: Comparaison des concentrations en PFNA mesurées dans le sang des adolescents wallons et des adolescents de la zone de Chièvres, selon le genre

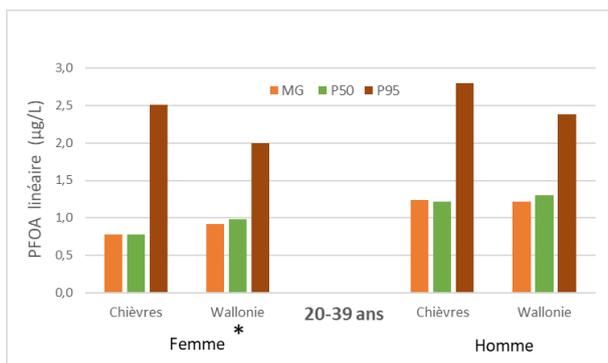


Figure 13: Comparaison des concentrations en PFOA linéaire mesurées dans le sang des 20-39 ans wallons et de la zone de Chièvres, selon le genre

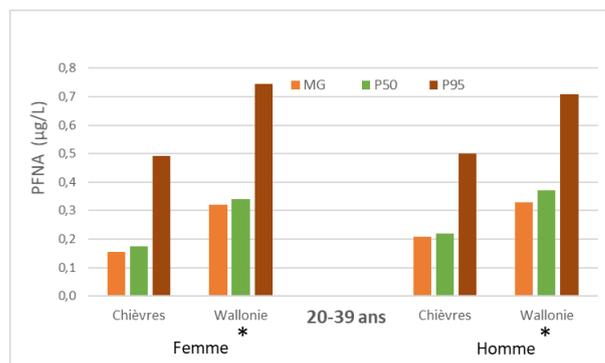


Figure 16: Comparaison des concentrations en PFNA linéaire mesurées dans le sang des 20-39 ans wallons et de la zone de Chièvres, selon le genre

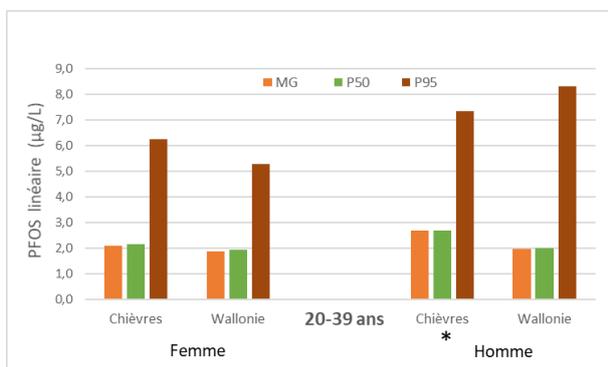


Figure 14: Comparaison des concentrations en PFOS linéaire mesurées dans le sang des 20-39 ans wallons et de la zone de Chièvres, selon le genre

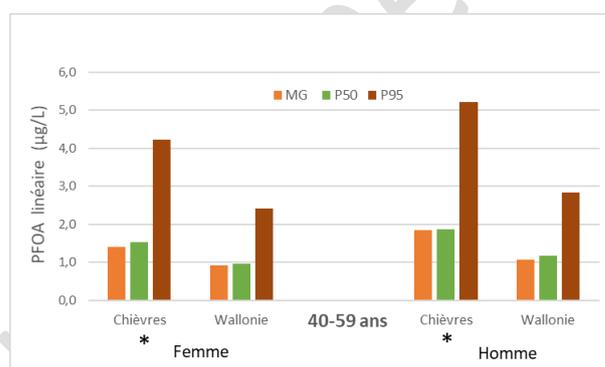


Figure 17: Comparaison des concentrations en PFOA linéaire mesurées dans le sang des 40-59 ans wallons et de la zone de Chièvres, selon le genre

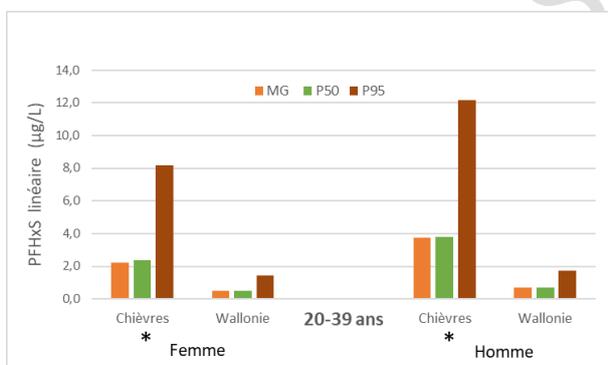


Figure 15: Comparaison des concentrations en PFHxS linéaire mesurées dans le sang des 20-39 ans wallons et de la zone de Chièvres, selon le genre

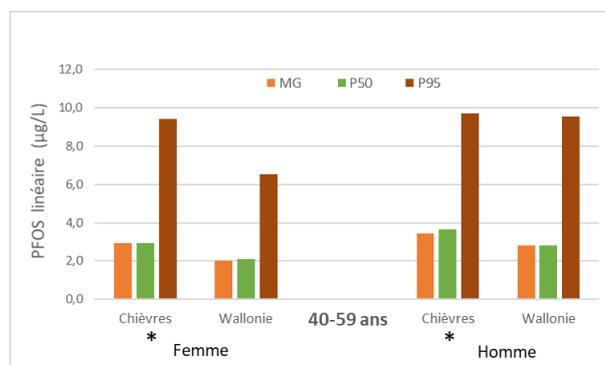


Figure 18: Comparaison des concentrations en PFOS linéaire mesurées dans le sang des 40-59 ans wallons et de la zone de Chièvres, selon le genre

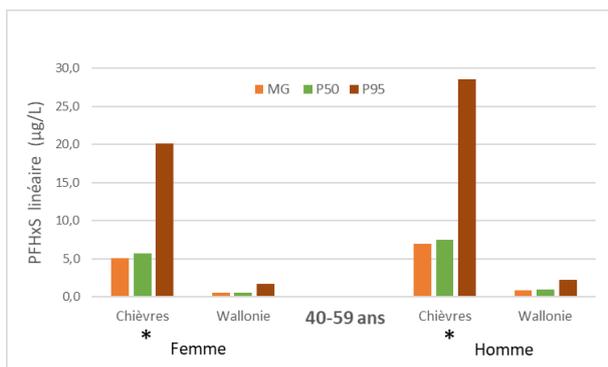


Figure 19: Comparaison des concentrations en PFHxS linéaire mesurées dans le sang des 40-59 ans wallons et de la zone de Chièvres, selon le genre

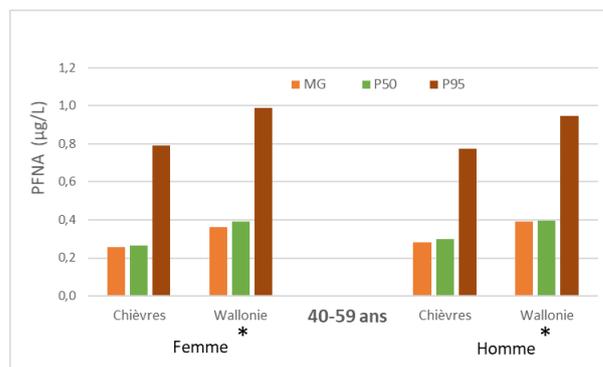


Figure 20: Comparaison des concentrations en PFNA mesurées dans le sang des 40-59 ans wallons et de la zone de Chièvres, selon le genre

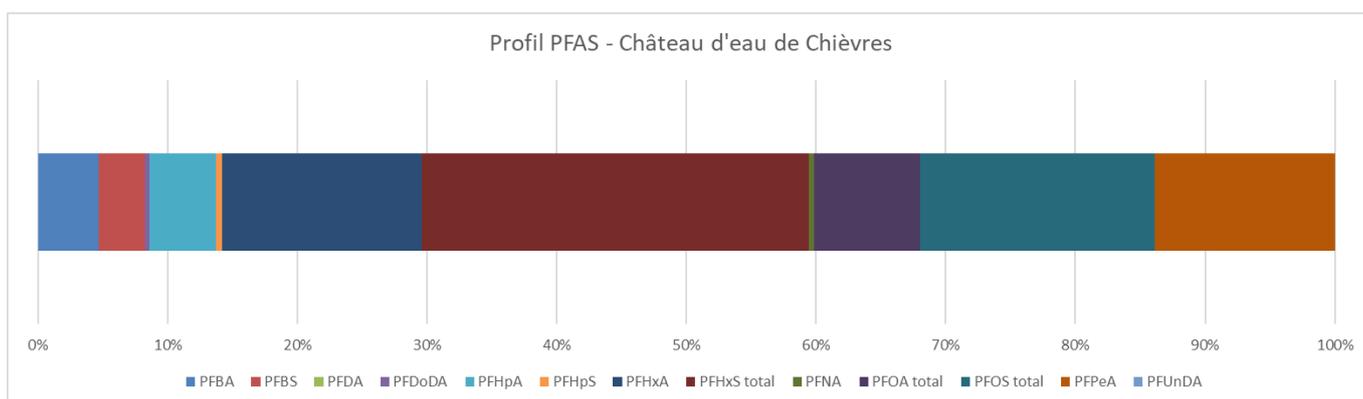
5.1.4 Profils PFAS

Aujourd'hui (juin 2024), toutes les zones de distribution d'eau wallonnes (soit 641) présentent des teneurs en PFAS (sommées des 20 PFAS) inférieures à la future norme de 100 ng/l. Cependant, l'étude BMH-PFAS a été lancée, en décembre 2023, suite à des problèmes de contamination en PFAS d'eau de distribution dans quelques communes wallonnes où cette future norme avait été dépassée.

Il est, dès lors, judicieux de se poser la question : ces dépassements ont-ils eu un impact sur la population desservie à un moment donné par cette eau ? La comparaison du profil PFAS de l'eau de distribution, avant la mise en place d'un système de filtres à charbon, avec les profils d'imprégnation en PFAS de la population testée pourra apporter un premier éclairage sur cette question légitime. Mais sans pour autant apporter la preuve irréfutable du lien de causalité. En effet, il est indispensable de pousser l'exploitation et l'analyse des données plus loin, de continuer les investigations environnementales autour du puits pollué, etc. Une étude statistique complète croisant les données d'imprégnation de la population avec les variables issues du questionnaire devrait fournir un éclairage sur les sources d'exposition aux PFAS de la population. Cette étude est prévue dans le programme de travail du projet BMH-PFAS.

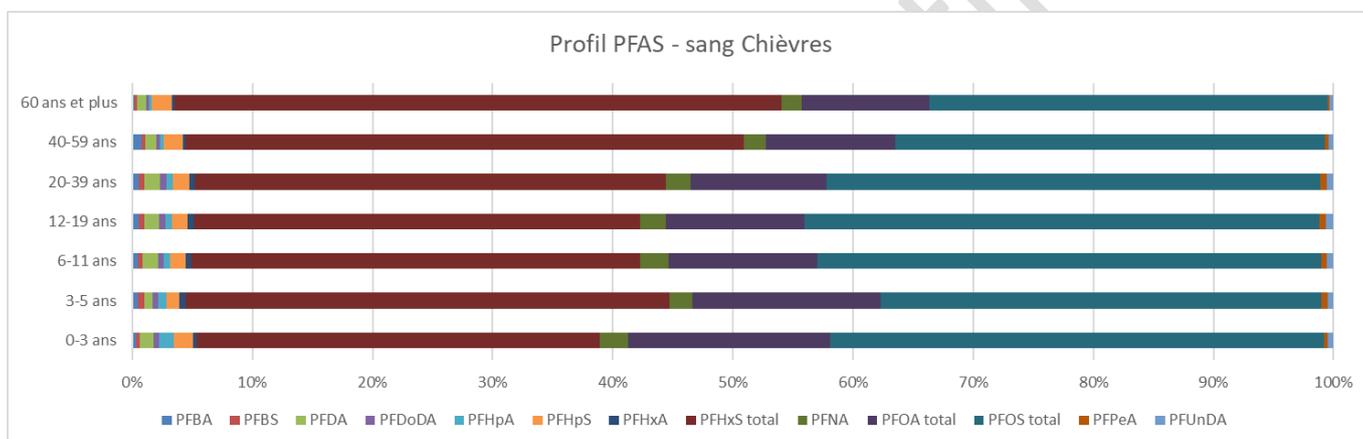
Le profil PFAS (Figure 21) est un profil moyen établi à partir de 17 analyses d'eau prélevée entre octobre 2021 et mars 2023 (avant la mise en place des filtres à charbon) au château d'eau de Chièvres (eau distribuée aux habitants de la section bleue de la ZDE 1098). En raison de la diversité des LOQ rencontrées pour l'analyse des PFAS dans l'eau du château d'eau de Chièvres, les résultats sous la LOQ ont été remplacés par 0.

Figure 21: Profil PFAS de l'eau de distribution à Chièvres - Château d'eau de Chièvres - 25/10/2021 à 08/03/2023



Source des données : SWDE

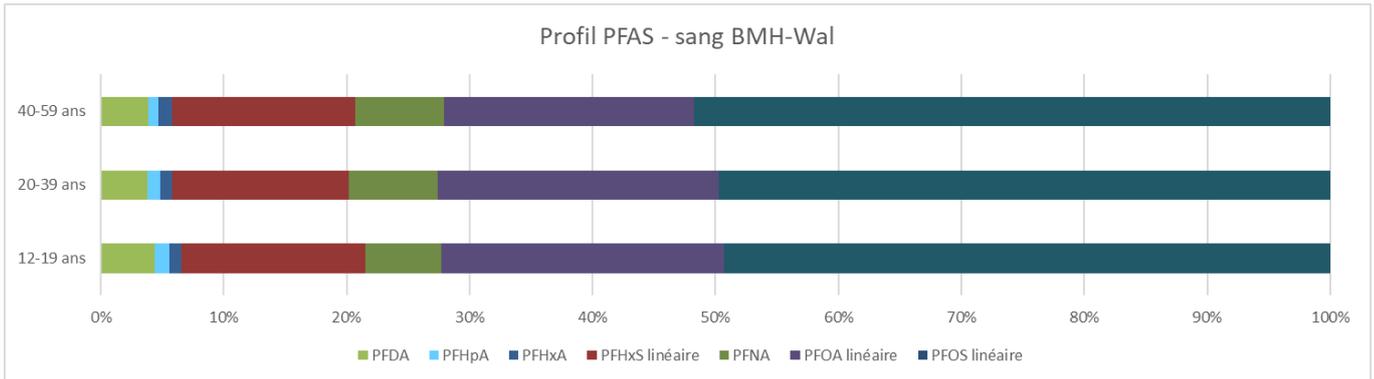
Figure 22: Profils des concentrations en PFAS dans le sang des résident.e.s de la zone de Chièvres – BMH-PFAS - 2024



Le PFAS majoritairement présent dans l'eau du château d'eau de Chièvres est le PFHxS. Ce dernier est aussi le PFAS présent en plus grande proportion dans le sang des résidents de la zone desservie par le château d'eau de Chièvres (Figure 22). Si le PFOS et, dans une moindre mesure, le PFOA sont largement présents à la fois dans l'eau du château d'eau et le sang des résidents, *a contrario*, le PFHxA et le PFPeA sont proportionnellement plus présents dans l'eau du château d'eau que dans le sang des résidents. Ces différences de signature (concentrations relatives) des PFAS dans l'eau et le sang doivent être investiguées plus en détail en considérant les propriétés physicochimiques (e.g. volatilité, dégradabilité) et toxicocinétiques (absorption, distribution, métabolisme et élimination des PFAS dans l'organisme) de ces deux derniers composés en comparaison aux autres.

Dans le sang de la population wallonne (Figure 23), le PFOS et le PFOA, tous deux sous leur forme linéaire, représentent 72 % de l'imprégnation. Le PFHxS représente moins de 15% de l'imprégnation en PFAS des Wallons alors qu'il compte pour 34 à 51% de l'imprégnation totale des résidents de Chièvres. Cependant, il faut rappeler que moins de PFAS ont été dosés dans le programme BMH-Wal (7 vs 19), ce qui impacte les proportions de PFAS dans les profils.

Figure 23: Profils des concentrations en PFAS dans le sang de la population wallonne – BMH-Wal – 2019-20 / 2023



5.2 Zone 'Ronquières

5.2.1 Description de la population testée

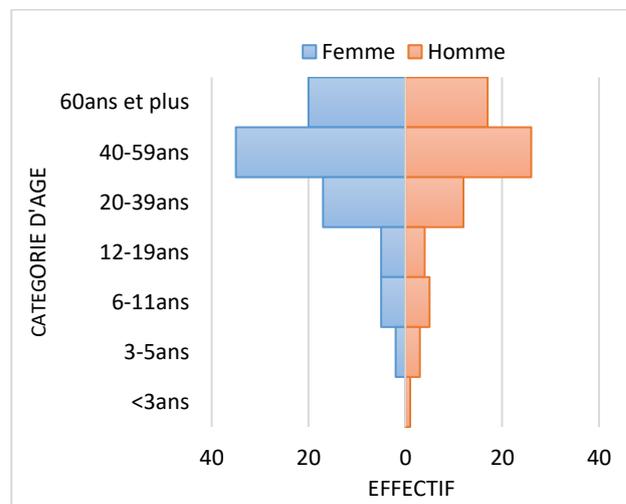
En janvier 2024, les habitants de la zone de Ronquières (Braine-le-Comte, Ittre, Seneffe) ont été informés de l'étude BMH-PFAS et invité à participer. Les séances de prélèvements sanguins ont eu lieu entre janvier et mars 2024. Au total, sur la zone de Ronquières, ce sont 152 résident.e.s qui ont participé au projet, soit 10 % de l'effectif maximal potentiel.

Toute la population résidant dans la zone d'étude était invitée à participer, quel que soit l'âge. Le Tableau 12 présente la répartition de la population échantillonnée à Ronquières selon la catégorie d'âge. Le choix des catégories d'âge suit celui du programme wallon de biomonitoring humain, BMH-Wal. Globalement, le rapport femme/homme est plus ou moins équilibré, mais on remarque néanmoins un déséquilibre de la classe d'âge 'adolescent.e.s'. Le déséquilibre chez les moins de 3 ans est dû au très faible effectif (N=1). Les catégories d'âge '20-39 ans', '40-59 ans' et '60 ans et plus' comprennent les plus grands effectifs (Figure 24).

Tableau 12: Répartition selon le genre, par catégorie d'âge – Zone de Ronquières

Catégorie d'âge	Femme	Homme
<3ans N=1	0,0%	100,0%
3-5ans N=5	40,0%	60,0%
6-11ans N=10	50,0%	50,0%
12-19ans N=9	55,6%	44,4%
20-39ans N=29	58,6%	41,4%
40-59ans N=61	57,4%	42,6%
>60ans N=37	54,1%	45,9%

Figure 24: Pyramide des âges des participants de la zone de Ronquières



5.2.2 Imprégnation en PFAS des résidents de la zone étudiée

Ce sous-chapitre présente les résultats du dosage des PFAS recherchés dans le sang des participants de la zone de Ronquières. Les fréquences de quantification (%N>LOQ) et de non-quantification (%N<LOQ) sont reprises dans le Tableau 13. Sur les 19 PFAS analysés, 6 sont peu ou pas retrouvés dans le sang des habitants de la zone de Ronquières quel que soit l'âge (%N>LOQ entre 0 et quelques %). A l'opposé, 7 PFAS sont retrouvés chez presque tous les participants, des plus jeunes aux plus âgés (%N>LOQ égal à 100%). Il s'agit du PFOA (linéaire et total), du PFHxS (linéaire et total), PFOS (linéaire, ramifié et total) dans toutes les catégories d'âge. Le PFNA, le PFDA et le PFHpS sont davantage retrouvés dans des échantillons de la population plus âgée.

Le PFOS, le PFOA et le PFHxS sont les PFAS les plus retrouvés dans le sang des participants de l'étude BMH-PFAS pour la zone de Ronquières (fréquences de quantification élevées). Ensuite, viennent les PFNA, le PFHpS et le PFDA. Les histogrammes de figures suivantes illustrent la distribution de ces PFAS par classes d'âge.

Toutes les statistiques descriptives, pour les 19 PFAS par catégorie d'âge et selon le genre, sont reprises en annexe. Ces tableaux comprennent, pour chaque PFAS, la moyenne géométrique, le pourcentage de valeurs inférieures à la limite de quantification (LOQ), les minimum-maximum et les percentiles 5, 25, 50, 75 et 95, en fonction de la classe d'âge et du sexe.

N			PFBA	PFPeA	PFHxA	PFHpA	PFOA ramifié	PFOA linéaire	PFOA total	PFNA	PFDA	PFUnDA	PFDoDA	PFBS	PFHxS ramifié	PFHxS linéaire	PFHxS total	PFHpS	PFOS ramifié	PFOS linéaire	PFOS total
<3ans	1	% N>LOQ					0	100	100	100	0	0			0	100	100	0	100	100	100
3-5ans	5	% N>LOQ	0	0	0	50	20	100	100	60	20	0	0	0	40	100	100	0	100	100	100
6-11ans	10	% N>LOQ	0	0	0	0	10	100	100	80	20	0	0	0	10	100	100	0	100	100	100
12-19ans	9	% N>LOQ	0	0	0	0	0	100	100	78	67	0	0	0	11	100	100	0	100	100	100
20-39ans	29	% N>LOQ	0	0	0	0	3	100	100	69	31	3	0	0	17	100	100	10	100	100	100
40-59ans	61	% N>LOQ	2	2	2	3	15	100	100	89	49	18	2	5	39	100	100	44	100	100	100
>60ans	37	% N>LOQ	3	0	0	5	35	100	100	100	70	22	3	11	73	100	100	86	100	100	100

vert: Fréquence de quantification > 40%

Les PFAS indiqués en gras sont les PFAS analysés dans le programme BMH-Wal

Tableau 13: Fréquences de quantification des PFAS dosés – Zone de Ronquières

Sur les histogrammes des Figure 25 à Figure 30, les moyennes géométriques et les percentiles des classes d'âge des bambins (<3 ans), des enfants (3-5 et 6-11 ans) et des adolescents (12-19 ans) ne sont pas reprises car les effectifs de ces groupes sont trop faibles (<10 participants). Les statistiques descriptives ne sont pas représentatives.

Comme pour la zone de Chièvres, les concentrations en PFAS dans le sang augmentent avec l'âge. Cette observation a été rapportée dans de nombreuses études (Bjermo et al., 2013 ; Ingelido et al., 2010 ; Pirard et al., 2020).

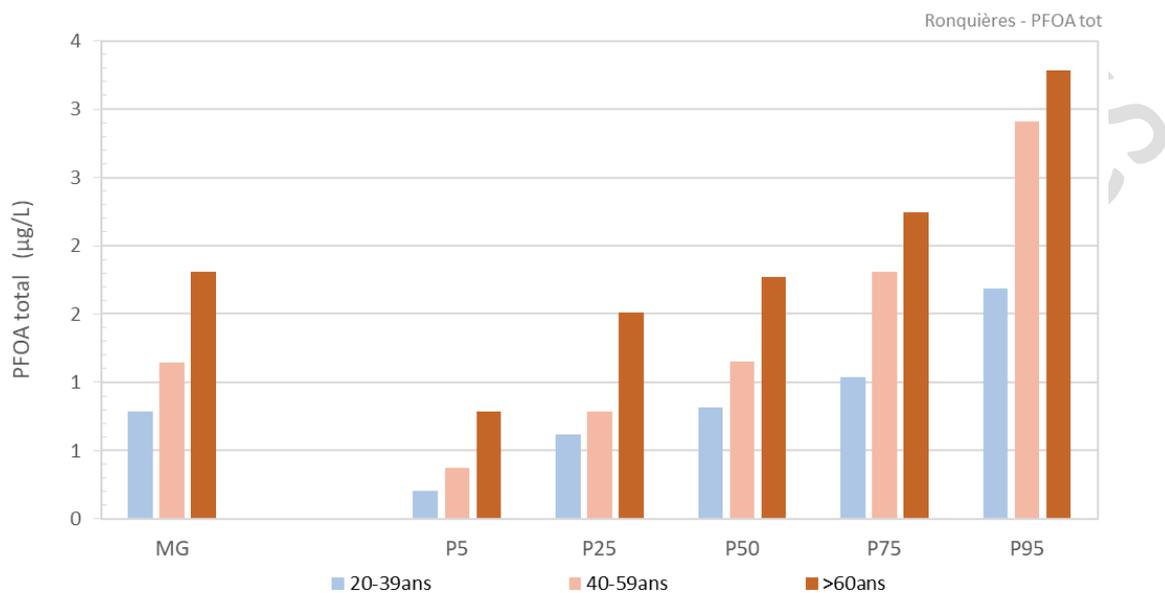


Figure 25: Distribution des concentrations en PFOA total, par catégories d'âge - Zone de Ronquières

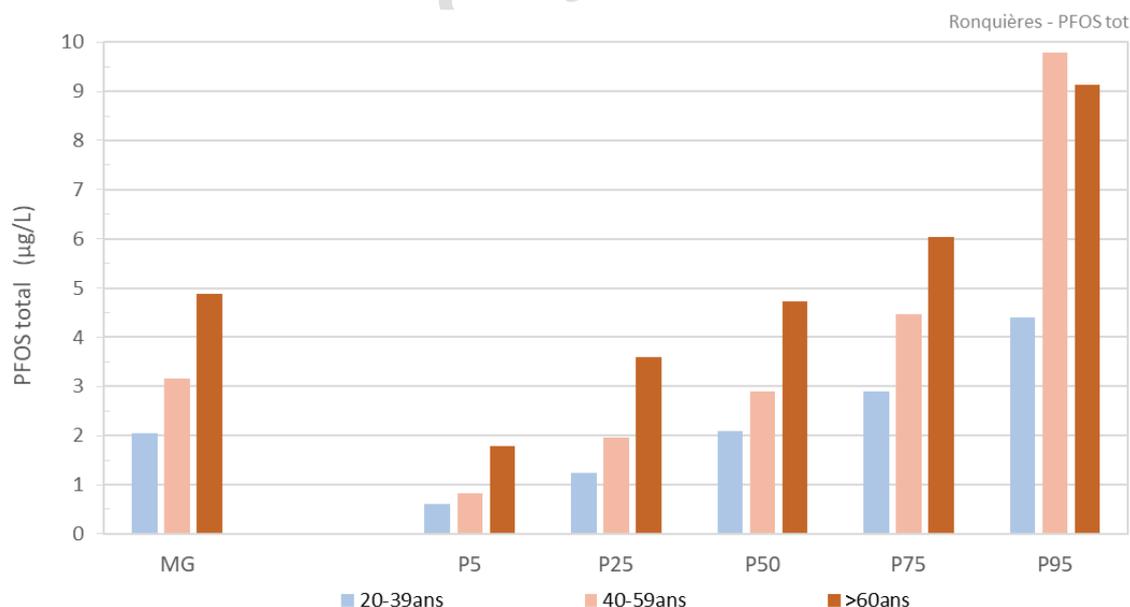


Figure 26: : Distribution des concentrations en PFOS total, par catégories d'âge - Zone de Ronquières

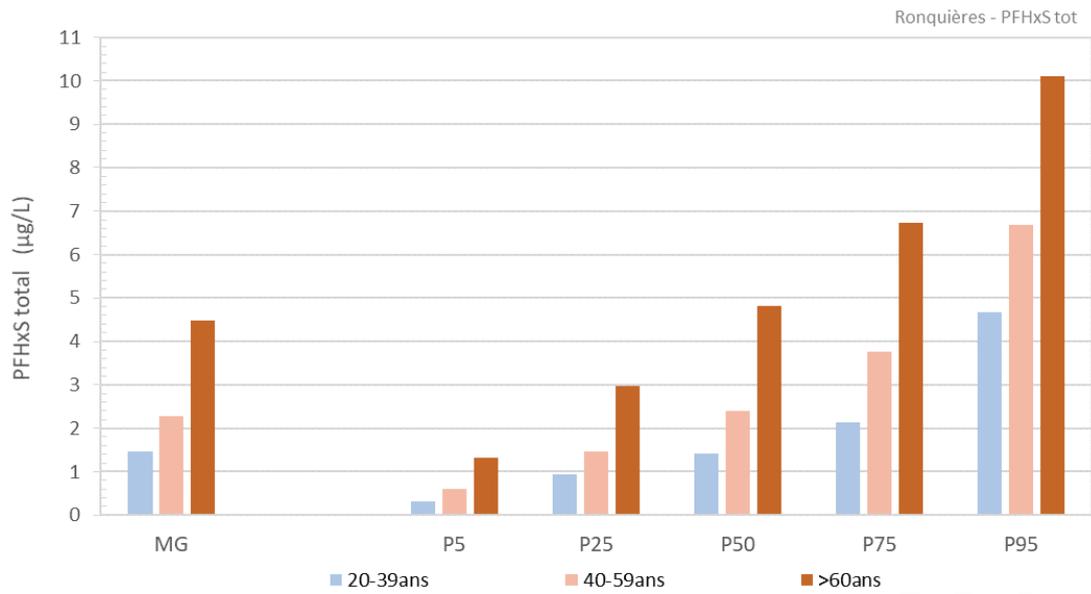


Figure 27: : Distribution des concentrations en PFHxS total, par catégories d'âge - Zone de Ronquières

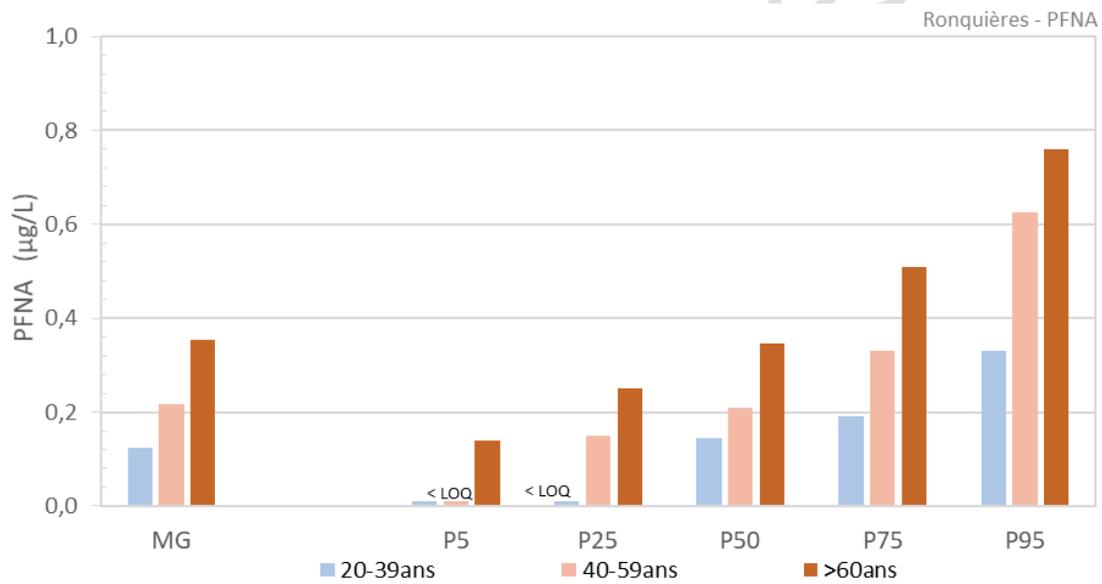


Figure 28: : Distribution des concentrations en PFNA, par catégories d'âge - Zone de Ronquières

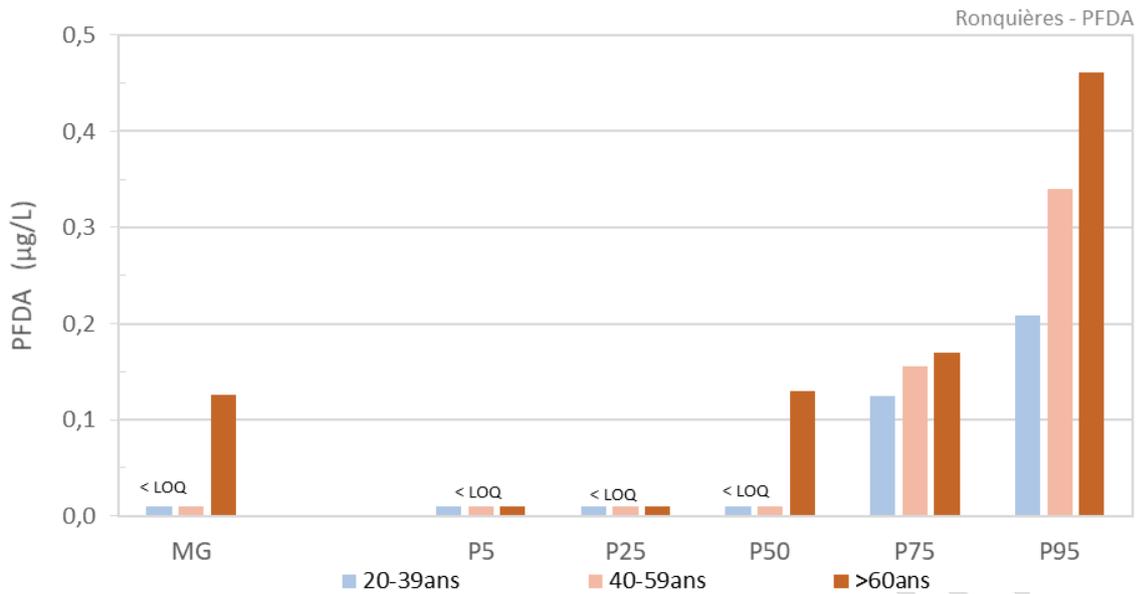


Figure 29: : Distribution des concentrations en PFDA, par catégories d'âge - Zone de Ronquières

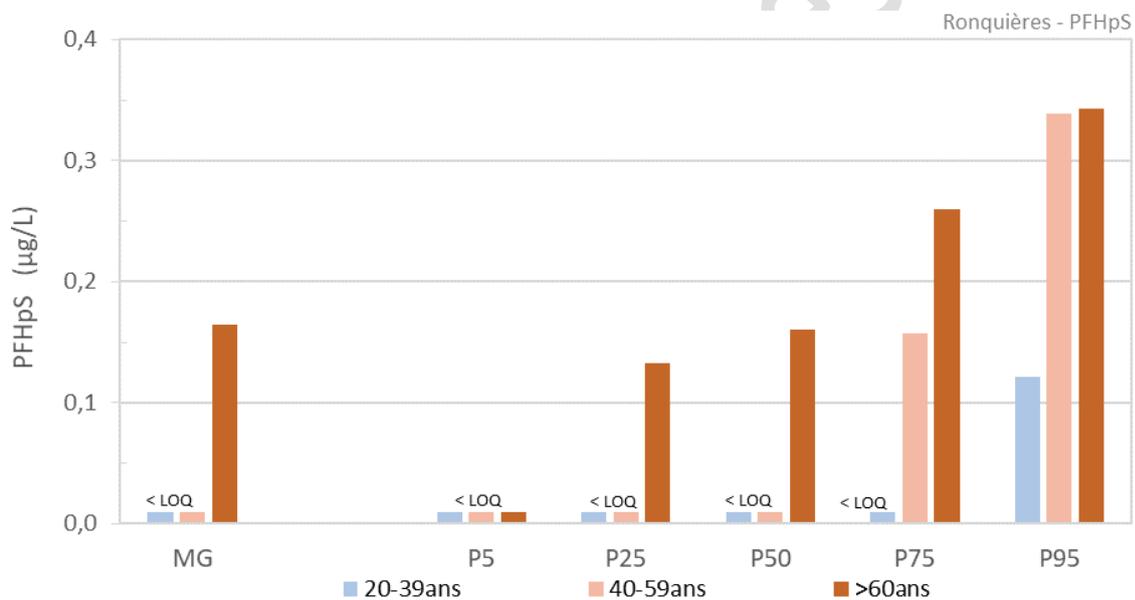


Figure 30: : Distribution des concentrations en PFHpS, par catégories d'âge - Zone de Ronquières

Comparaison avec les valeurs de référence sanitaire

L'évaluation du risque sanitaire associé à l'exposition aux PFAS est basée sur l'utilisation de la somme PFAS NAS retenue par le Conseil Scientifique PFAS. Dans le cadre de ce biomonitoring, le calcul de cette somme PFAS NAS est incomplet puisque parmi les PFAS, 1 n'est pas dosé : MeFOSAA. Certains PFAS à prendre en compte n'ont pas ou peu été quantifiés dans la population étudiée. Dès lors, les valeurs manquantes (<LOQ) doivent être remplacées. La méthode d'imputation par la limite haute (=valeur de la LOQ) a été utilisée (worst case).

La Figure 31 présente la répartition par ordre croissant des sommes PFAS NAS de l'ensemble des participants de la zone de Ronquières. Tout âge confondu, hommes et femmes, 2 % des participants ne

dépassent pas le seuil de 2 µg/l, 94.1 % se situent entre 2 et 20 µg/l et 3.9 % sont au-delà du seuil de 20 µg/l. La somme PFAS NAS maximale observée parmi les participants de la zone de Ronquières est de 36.94 µg/l, la somme minimale étant de 1.39 µg/l. Entre 85% et 100% des habitants de la zone de Ronquières ayant participé à l'étude dépassent le seuil de 2 µg/l (Tableau 14). En-dessous de 39 ans, aucun dépassement du seuil de 20 µg/l n'est observé parmi les participants de la zone de Ronquières.

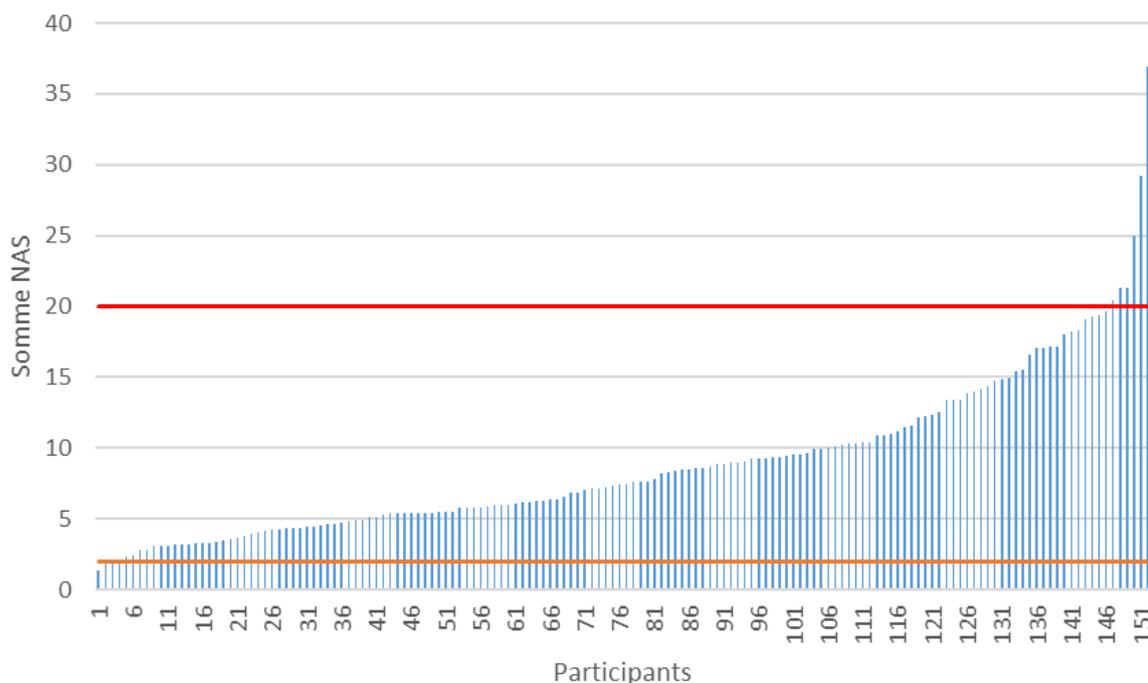


Figure 31: Histogramme croissant des sommes NAS – Zone de Ronquières

Tableau 14: Somme PFAS NAS - Pourcentage de participants, par classe d'âge et sexe, selon la valeur de référence sanitaire 'Somme PFAS NAS' – Zone de Ronquières

Ronquières	Somme PFAS NAS					
	≤2 µg/l		entre 2 et 20 µg/l		> 20 µg/l	
	Femme	Homme	Femme	Homme	Femme	Homme
<3 ans		0 %		100 %		0 %
3-5 ans	0 %	0 %	100 %	100 %	0 %	0 %
6-11 ans	0 %	0 %	100 %	100 %	0 %	0 %
12-19 ans	0 %	0 %	100 %	100 %	0 %	0 %
20-39 ans	11,8%	0 %	88,2%	100 %	0 %	0 %
40-59 ans	2,9%	0 %	94,3%	96,2%	2,9%	3,8%
≥ 60 ans	0 %	0 %	85,0%	94,1%	15,0%	5,9%

Le Tableau 15 présente les dépassements de la valeur HBM I pour le PFOS et le PFOA. Les dépassements concernent les classes d'âge plus âgées. Vu les faibles effectifs des classes d'âge sous 5 ans, les pourcentages de dépassements doivent être considérés avec précaution. Ils ne sont pas représentatifs de la population de la zone.

Tableau 15: Pourcentage de participants, par classe d'âge et sexe, par rapport à la valeur de référence sanitaire HBM I pour le PFOA et le PFOS – Zone de Ronquières

Ronquières	≤ HBM I		> HBM I	
%	Aucun effet sur la santé n'est attendu		Effets néfastes sur la santé à ne pas exclure	
PFOA				
	Femme	Homme	Femme	Homme
<3 ans		0,0%		100,0%
3-5 ans	100,0%	33,3%	0,0%	66,7%
6-11 ans	100,0%	100,0%	0,0%	0,0%
12-19 ans	100,0%	100,0%	0,0%	0,0%
20-39 ans	100,0%	91,7%	0,0%	8,3%
40-59 ans	85,7%	76,9%	14,3%	23,1%
≥ 60 ans	55,0%	64,7%	45,0%	35,3%
PFOS				
	Femme	Homme	Femme	Homme
<3 ans		100,0%		0,0%
3-5 ans	100,0%	100,0%	0,0%	0,0%
6-11 ans	100,0%	100,0%	0,0%	0,0%
12-19 ans	100,0%	100,0%	0,0%	0,0%
20-39 ans	100,0%	91,7%	0,0%	8,3%
40-59 ans	91,4%	80,8%	8,6%	19,2%
≥ 60 ans	85,0%	94,1%	15,0%	5,9%

5.2.3 Comparaison avec la population générale wallonne

Pour rappel, la comparaison des imprégnations en PFAS entre les résidents de la zone de Ronquières et la population générale wallonne, a priori non (sur)exposée, est menée pour 3 catégories d'âge : les adolescents 12-19 ans, les adultes 20-39 ans et 40-59 ans. Cette comparaison tient compte également du genre, étant donné que des différences statistiquement significatives sont observées (Tableau 2, p.11).

L'analyse des valeurs d'imprégnation des habitants de la zone Ronquières en regard des valeurs de référence wallonnes est réalisée sur base de traitements statistiques (voir introduction du chapitre 5, p.15). Les tests statistiques sont réalisés sur les données d'imprégnation de 6 PFAS, le PFHxA n'ayant pas été quantifié dans la population wallonne (Jacques et al, 2023c).

Des différences dans les imprégnations entre les habitants de la zone de Ronquières et la population wallonne (pour une ou plusieurs des 3 classes d'âge comparées) sont statistiquement significatives pour plusieurs PFAS. Elles sont signalées en gras, excepté pour le PFDA et le PFHpA, dans les tableaux suivants (Tableau 16, Tableau 17).

Les résultats issus des tests statistiques pour la zone de Ronquières sont à considérer avec beaucoup de précaution. Le nombre de participants pour les classes d'âge utilisées pour la comparaison, à savoir les 12-19 ans, les 20-39 ans et les 40-59 ans, est assez faible. Vu la différence d'effectifs entre les groupes comparés (BMH-Wal vs BMH-PFAS), la puissance statistique des analyses réalisées est faible.

Dès lors, les résultats présentés dans les tableaux suivant sont à considérer comme indicatifs. On parlera de tendance.

Tableau 16: Comparaison des imprégnations entre les résidents de la zone de Ronquières et la population wallonne, par catégorie d'âge, par sexe à l'aide du test de Mann-Whitney ($p < 0.05$)

Femme				Homme			
	12-19 ans	20-39 ans	40-59 ans		12-19 ans	20-39 ans	40-59 ans
PFHpA	0,672	0,410	0,035	PFHpA	0,839	1,000	0,169
PFOA linéaire	0,211	0,028	0,501	PFOA linéaire	0,053	0,029	0,210
PFNA	0,228	<0,0001	<0,0001	PFNA	0,088	<0,0001	0,002
PFDA	0,221	0,000	0,000	PFDA	0,177	0,003	0,024
PFHxS	0,001	<0,0001	<0,0001	PFHxS	0,011	<0,0001	<0,0001
PFOS linéaire	0,868	0,010	0,149	PFOS linéaire	0,673	0,251	0,070

Tableau 17: Comparaison des imprégnations entre les résidents de la zone de Ronquières et la population wallonne, par catégorie d'âge, par sexe à l'aide d'un Z-test à une proportion ($p < 0.001$)

Femme				Homme			
	12-19 ans	20-39 ans	40-59 ans		12-19 ans	20-39 ans	40-59 ans
PFHpA	0,5	0,666	0,5	PFHpA	0,5	0,5	0,335
PFOA linéaire	0,5	0,864	0,972	PFOA linéaire	0,5	0,5	0,5
PFNA	0,5	0,784	0,972	PFNA	0,5	0,538	0,925
PFDA	0,5	0,784	0,972	PFDA	0,5	0,694	0,871
PFHxS	0,021	0,031	0,114	PFHxS	0,5	0,0005	<0,0001
PFOS linéaire	0,5	0,864	0,972	PFOS linéaire	0,5	0,694	0,5

Les Figure 32 à Figure 43, ci-dessous, présentent, sous forme de graphique, les comparaisons entre les concentrations mesurées dans le sang des résidents de la zone de Ronquières et la population wallonne pour les 3 catégories d'âge considérées, pour les 4 PFAS où des différences sont observées. Sur chaque graphique sont repris la moyenne géométrique (MG), les percentiles (P50 et P95), en fonction du sexe.

Quelle que soit la catégorie d'âge et le sexe, la population de la zone de Ronquières est plus imprégnée que la population wallonne en PFHxS linéaire, 2.3 à 3.4 fois plus selon l'âge (rapport des moyennes géométriques). Les hommes de 40 à 59 ans sont plus imprégnés en PFOA linéaire, de l'ordre de 1.2 fois plus. Les résidents de la zone de Ronquières, tout âge, homme et femme, sont jusqu'à 2 fois moins imprégnés en PFNA que la population wallonne. Les imprégnations en PFOS sont similaires entre les deux groupes, quel que soit le sexe et l'âge. Comme cela a été observé dans la zone de Chièvres, au sein de la population étudiée dans la zone de Ronquières, les concentrations en PFHxS, PFOA, PFOS et PFNA sont généralement plus basses chez les femmes vs les hommes.

Dans l'analyse comparative avec les données du programme BMH-Wal (population générale wallonne), il faut aussi prendre en considération différents éléments : périodes d'échantillonnage différentes, laboratoires d'analyses différents, caractéristiques des populations étudiées. Pour ce dernier point, l'exploitation des variables du questionnaire pourra apporter des éléments de réponses. Des analyses plus approfondies, telles que des analyses multivariées faisant intervenir de multiples variables explicatives, permettraient d'obtenir des modèles explicatifs plus précis et pertinents pour la recherche de déterminants d'imprégnation.

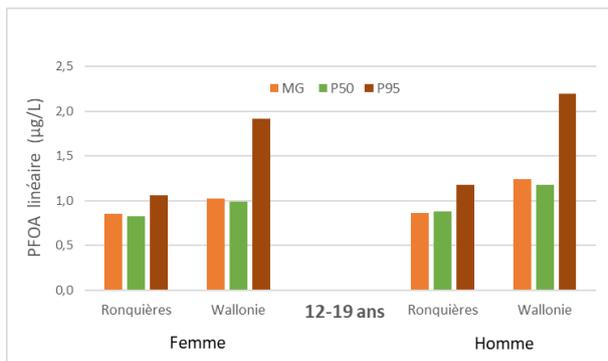


Figure 32: Comparaison des concentrations en PFOA linéaire mesurées dans le sang des adolescents wallons et des adolescents de la zone de Ronquières, selon le genre

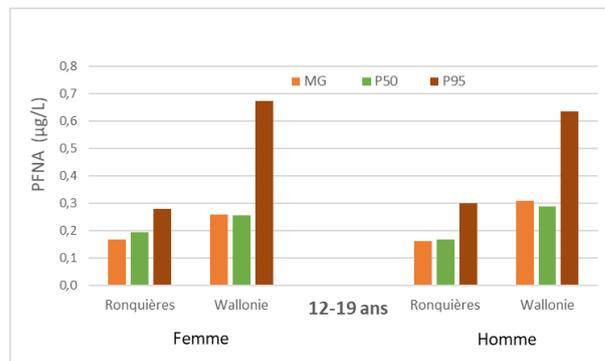


Figure 35: Comparaison des concentrations en PFNA linéaire mesurées dans le sang des adolescents wallons et des adolescents de la zone de Ronquières, selon le genre

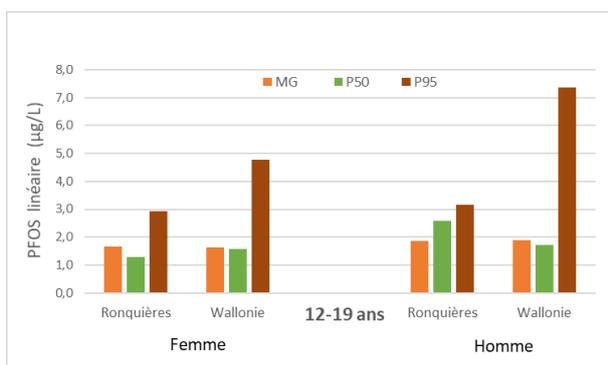


Figure 33: Comparaison des concentrations en PFOS linéaire mesurées dans le sang des adolescents wallons et des adolescents de la zone de Ronquières, selon le genre

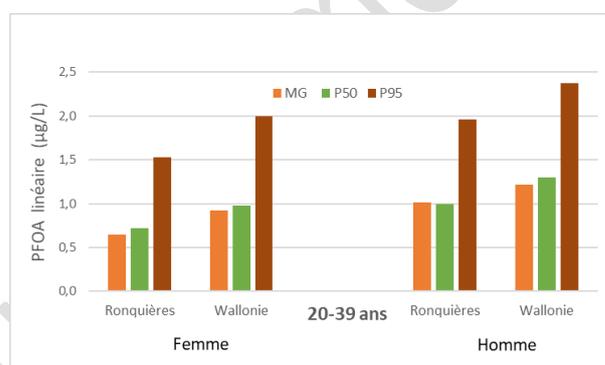


Figure 36: Comparaison des concentrations en PFOA linéaire mesurées dans le sang des 20-39 ans wallons et de la zone de Ronquières, selon le genre

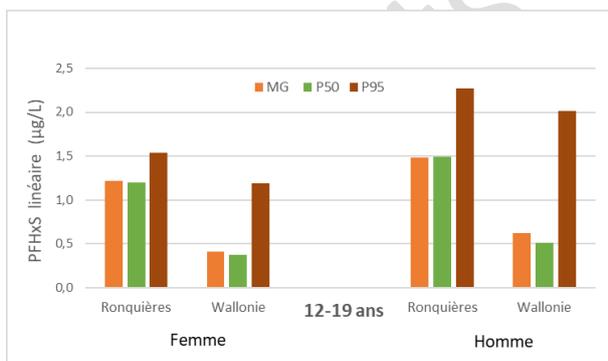


Figure 34: Comparaison des concentrations en PFHxS linéaire mesurées dans le sang des adolescents wallons et des adolescents de la zone de Ronquières, selon le genre

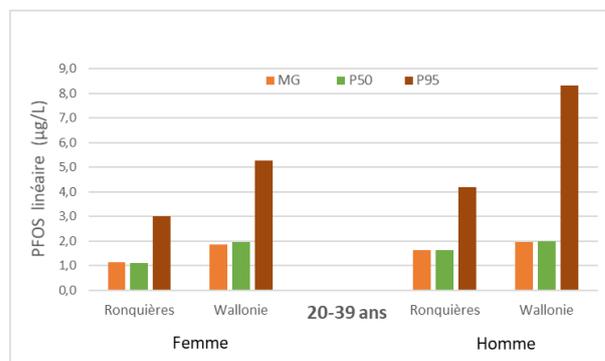


Figure 37: Comparaison des concentrations en PFOS linéaire mesurées dans le sang des 20-39 ans wallons et de la zone de Ronquières, selon le genre

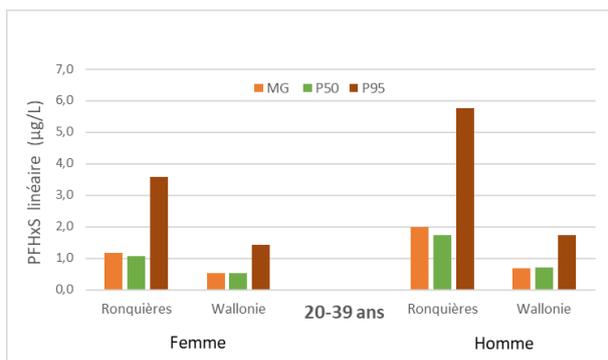


Figure 38: Comparaison des concentrations en PFHxS linéaire mesurées dans le sang des 20-39 ans wallons et de la zone de Ronquières, selon le genre

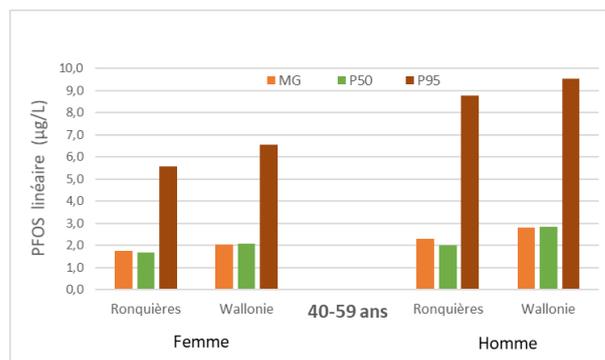


Figure 41: Comparaison des concentrations en PFOS linéaire mesurées dans le sang des 40-59 ans wallons et de la zone de Ronquières, selon le genre

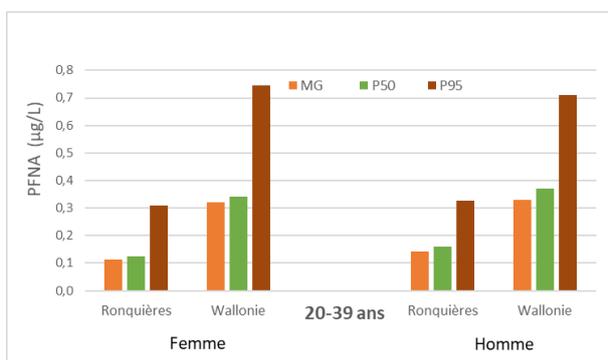


Figure 39: Comparaison des concentrations en PFNA mesurées dans le sang des 20-39 ans wallons et de la zone de Ronquières, selon le genre

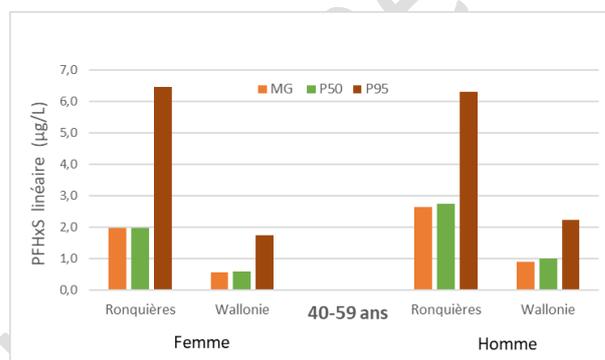


Figure 42: Comparaison des concentrations en PFHxS linéaire mesurées dans le sang des 40-59 ans wallons et de la zone de Ronquières, selon le genre

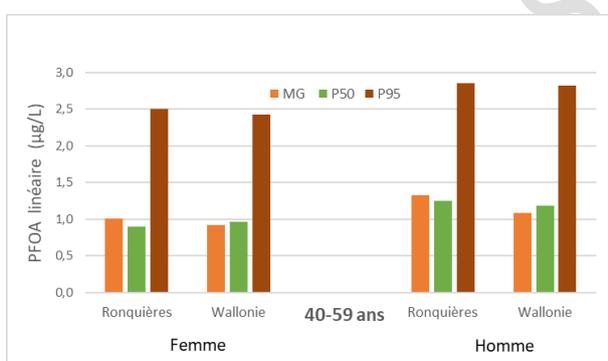


Figure 40: Comparaison des concentrations en PFOA linéaire mesurées dans le sang des 40-59 ans wallons et de la zone de Ronquières, selon le genre

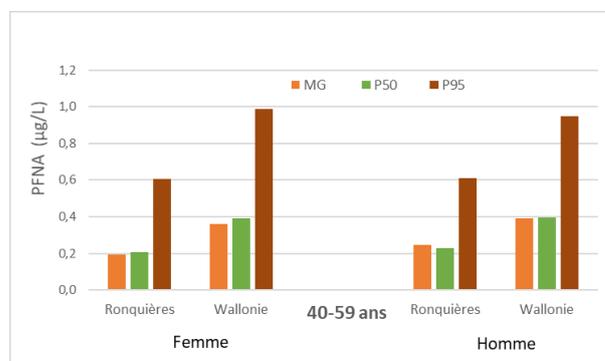


Figure 43: Comparaison des concentrations en PFNA mesurées dans le sang des 40-59 ans wallons et de la zone de Ronquières, selon le genre

5.2.4 Profils PFAS

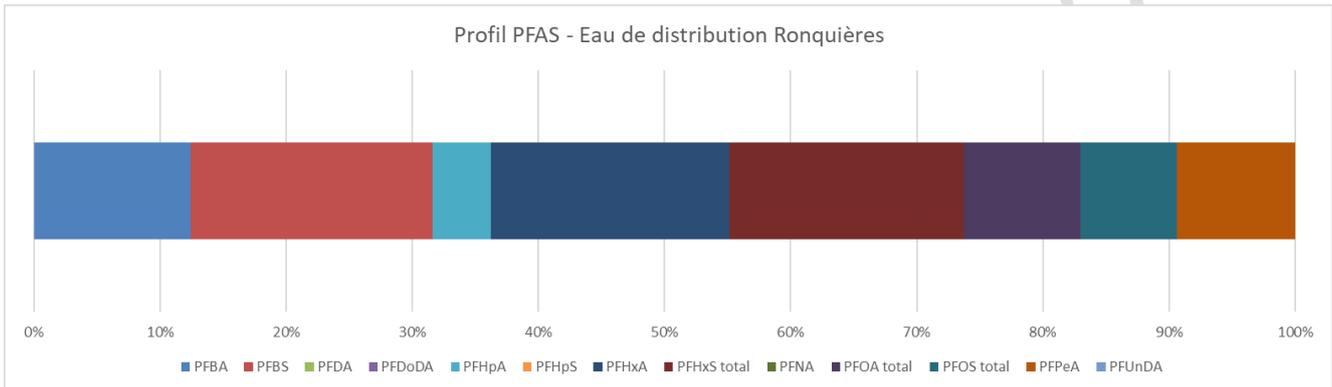
Aujourd'hui (juin 2024), toutes les zones de distribution d'eau wallonnes (soit 641) présentent des teneurs en PFAS (sommées des 20 PFAS) inférieures à la future norme de 100 ng/l. Cependant, l'étude BMH-PFAS a été lancée, en décembre 2023, suite à des problèmes de contamination en PFAS d'eau de distribution dans quelques communes wallonnes où cette future norme avait été dépassée.

Il est, dès lors, judicieux de se poser la question : ces dépassements ont-ils eu un impact sur la population desservie à un moment donné par cette eau ? La comparaison du profil PFAS de l'eau de distribution, avant la mise en place d'un système de filtres à charbon pour diminuer les teneurs en

PFAS, avec les profils d'imprégnation en PFAS de la population testée pourra apporter un premier éclairage sur cette question légitime. Mais sans pour autant apporter la preuve irréfutable du lien de causalité. En effet, il est indispensable de pousser l'exploitation et l'analyse des données plus loin. Une étude statistique complète croisant les données d'imprégnation de la population avec les variables issues du questionnaire devrait permettre un éclairage sur les sources d'exposition aux PFAS de la population. Cette étude est prévue dans le programme de travail du projet BMH-PFAS.

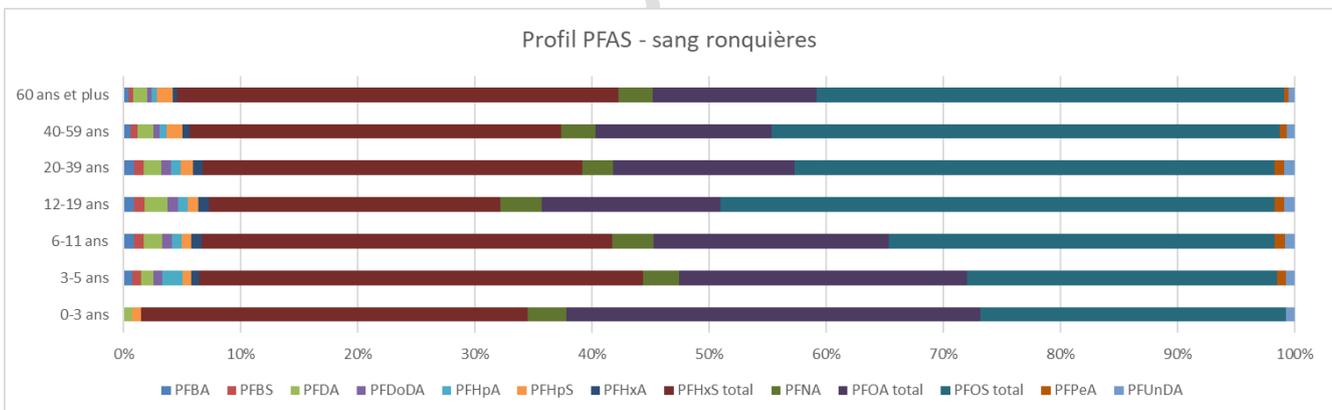
Le profil PFAS de la Figure 44 est un profil moyen établi à partir de 11 analyses d'eau prélevée sur le réseau de distribution qui dessert la région de Ronquières (ZDE 1102).

Figure 44: Profil PFAS de l'eau de distribution à Ronquières - Eau du robinet ZDE 1102 - 16/10/2023 à 22/05/2024



Source des données : SWDE

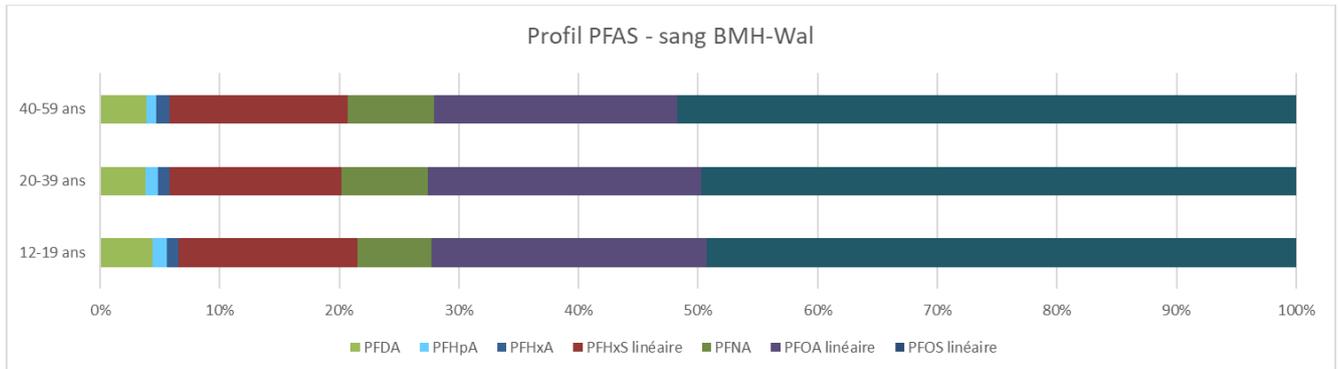
Figure 45: Profils des concentrations en PFAS dans le sang des résident.e.s de la zone de Ronquières – BMH-PFAS - 2024



Le profil PFAS dans l'eau de distribution de Ronquières présente une répartition relativement homogène des différents PFAS contrairement au profil PFAS dans le sang des résidents de la zone de Ronquières (Figure 45). Les PFAS les plus représentés dans l'eau de distribution sont le PFBS (19%), le PFHxA (19%) et du PFHxS (19%). Les PFAS les plus représentés dans le sang des résidents de Ronquières sont quant à eux le PFOS (41,1%), le PFHxS (34,1%) et le PFOA (15,3%). Des investigations complémentaires doivent être menées pour tenter d'expliquer des différences de signature (concentrations relatives) des PFAS dans l'eau et le sang.

Dans le sang de la population wallonne (Figure 46), le PFOS et le PFOA, tous deux sous leur forme linéaire, représentent presque les 72 % de l'imprégnation. Cependant, il faut rappeler que moins de PFAS ont été dosés dans le programme BMH-Wal (7 vs 19), ce qui impacte les proportions de PFAS dans les profils.

Figure 46: Profils des concentrations en PFAS dans le sang de la population wallonne – BMH-Wal – 2019-20 / 2023



6. Conclusions et recommandations préliminaires

La mise en place de l'étude BMH-PFAS fait suite à l'état de la situation en matière des PFAS dans l'eau de distribution. Des dépassements de la future norme européenne, 100 ng/l, ont été constatés au captage de Chièvres entre octobre 2021 et mars 2023. Suite au monitoring systématique des zones de distribution d'eau mis en place en septembre 2023, de tels dépassements ont aussi été mesurés à Ronquières en novembre 2023. Le présent document se rapporte à ces deux zones : Chièvres et Ronquières.

Entre janvier et mars 2024, 16 séances de prélèvements volontaires ont été organisées. Ainsi, 1836 échantillons de sang ont été collectés chez les résidents de la zone de Chièvres, 152 échantillons sanguins pour la zone de Ronquières. Les participants sont des hommes et des femmes, âgés de quelques mois à 92 ans.

Globalement, sur les 19 PFAS recherchés, quelle que soit la zone, les enfants et les adolescents sont, généralement, moins contaminés que les adultes. Cette observation a également été faite en population générale wallonne et dans d'autres études européennes. En effet, les PFAS sont connus pour se bioaccumuler dans l'organisme au cours de la vie. Les concentrations en PFAS sont aussi généralement plus basses chez les femmes vs les hommes.

L'analyse comparative avec la population wallonne a été menée pour les catégories d'âge étudiées (12 à 59 ans) et les 7 PFAS dosés dans le programme wallon de biomonitoring, BMH-Wal. L'ensemble des données d'imprégnation ont aussi été interprétées en fonction des valeurs de référence sanitaire.

Des différences significatives sont observées pour 4 PFAS. Les concentrations en PFHxS linéaire sont plus élevées chez les résidents de la zone de Chièvres, quel que soit l'âge et le sexe. Elles sont 4.3 à 8.7 fois plus élevées à Chièvres en fonction de la catégorie d'âge observée, par rapport à la population wallonne. Les concentrations sériques en PFOS linéaire sont également plus élevées chez les habitants de la zone de Chièvres, par rapport à la Wallonie, de l'ordre de 1.1 à 1.4 en fonction des catégories d'âge. Le PFOA linéaire est retrouvé en plus grande concentration dans les échantillons de sang des habitants de la zone de Chièvres, pour la classe d'âge 40-59 ans, de l'ordre de 1.6 fois plus. Par contre, les autres classes d'âge sont moins imprégnées en PFOA que la population wallonne. Les résidents de la zone de Chièvres, de tout âge, homme et femme, sont, jusqu'à 2 fois moins imprégnés en PFNA que la population wallonne. Sur le volet de l'évaluation des risques pour la santé, les imprégnations des participants sont mises en perspective avec les valeurs-seuils santé retenues par le Conseil Scientifique Indépendant PFAS, dont les valeurs-seuils pour la somme de 7 PFAS définies par les National Academies of Science. Tout âge confondu, hommes et femmes, 1.9 % des participants de la zone de Chièvres ne dépassent pas le seuil de 2 µg/l, 69.3 % se situent entre 2 et 20 µg/l, 28.8 % sont au-delà du seuil de 20 µg/l.

Chez les résidents de la zone de Ronquières, quel que soit l'âge et le sexe, les concentrations en PFHxS linéaire sont plus élevées. Elles sont 2.3 à 3.4 en fonction de la catégorie d'âge observée, par rapport à la population wallonne. Une imprégnation plus importante en PFOS n'est pas observée dans la zone de Ronquières. Le PFOA linéaire est retrouvé en plus grande concentration dans les échantillons de sang des habitants de la zone de Ronquières, pour la classe d'âge 40-59 ans, de l'ordre de 1.2 fois plus. Les résidents de la zone de Ronquières, de tout âge, homme et femme, sont, jusqu'à 2 fois moins imprégnés en PFNA que la population wallonne. Sur le volet des risques sanitaires, pour la zone de

Ronquières, tout âge confondu, hommes et femmes, 2 % des participants ne dépassent pas le seuil de 2 µg/l, 94.1 % se situent entre 2 et 20 µg/l et 3.9 % sont au-delà du seuil de 20 µg/l.

A l'issue de cette première étape du projet BMH-PFAS, des premières recommandations ont été élaborées par le Conseil Scientifique Indépendant. Elles pourront être affinées, par la suite, lors des volets suivants de l'étude dont l'analyse statistique plus poussées des données d'imprégnation en regard des variables du questionnaire d'enquête.

La réduction des imprégnations en PFAS passe par l'élimination d'une ou des sources d'exposition aux PFAS. Il est probable que l'eau de distribution de Chièvres et de Ronquières ait été une source importante d'exposition pour les résidents de ces deux zones. Cependant, à ce jour, aucune preuve scientifique ne permet d'affirmer ce point. L'eau de distribution respecte aujourd'hui, partout en Wallonie, la future norme de 100 ng/l pour 20 PFAS, grâce à l'installation de filtres à charbon là où cela s'est avéré nécessaire.

D'autres sources d'exposition sont possibles, l'alimentation étant connue comme source principale d'exposition aux PFAS pour la population générale. Là aussi, il convient de réduire son exposition au maximum.

Le Conseil Scientifique Indépendant PFAS a émis des recommandations destinées aux professionnels de la santé en cas de dépassements des valeurs-seuils sanitaires. Il est important de noter qu'un dépassement des valeurs-seuils santé n'entraîne pas nécessairement d'effets néfastes sur la santé. Des outils d'information sont à la disposition du corps médical (webinaire, documents d'information) pour leur permettre d'assurer le suivi sanitaire de leur patientèle.

7. Bibliographie

- Addinsoft, 2022. *XLSTAT statistical and data analysis solution*. Paris, France. <https://www.xlstat.com/fr>
- Apel, P., Angerer, J., Wilhelm, M., Kolossa-Gehring, M., 2017. *New HBM values for emerging substances, inventory of reference and HBM values in force and working principles of the German Human Biomonitoring Commission*. International Journal of Hygiene and Environmental Health, 220, 152-166. doi:10.1016/j.ijheh.2016.09.007
- ATSDR, 2018. *Toxicological profile for perfluoroalkyls*. Draft for Public Comment Agency for Toxic Substances and Disease Registry. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp200.pdf>.
- 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>
- Benbrahim-Talla et al., 2014. *Carcinogenicity of perfluorooctanoic acid, tetrafluoroethylene, dichloromethane, 1,2-dichloropropane, and 1,3-propane sultone*. The Lancet Oncology, 15, 9, 924-925.
- Bjeremo, 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>
- Bulson, E.E.; Remucal, C.K.; Hicks, A.L. 2023. *End-of-life circulation of PFAS in metal recycling streams: A sustainability-focused review, Resources, Conservation and Recycling*, Volume 194, 2023, 106978
- Courtney C. Carignan, Rachel A. Bauer, Andrew Patterson, Thep Phomsopha, Eric Redman, Heather M. Stapleton, and Christopher P. Higgins, 2023. *Self-Collection Blood Test for PFASs: Comparing Volumetric Microsamplers with a Traditional Serum Approach*. Environmental Science & Technology 2023 57 (21), 7950-7957. DOI: 10.1021/acs.est.2c09852
- Delahaye L, Bernard D, Demoor T., 2023. *Clinical Validation of Capillary Sampling Using VAMS For Application In Population Studies On PFAS*. Annual Meeting of Royal Belgian Society of Laboratory Medicine (RBSLM), 47th edition, 17/11/2023. <https://www.rbslm.be/2023-annual-rbslm-meeting>
- EFSA (European Food Safety Authority), 2020. Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food, EFSA Journal 18(9):6223. <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2020.6223>
- Eurofins Forensics Belgium, Eurofins Clinical Diagnostics Kortrijk (2023), Largescale blood test PFAS in residents living in vicinity of the 3M site in Zwijndrecht - Substudy 2 : Validation study capillary sampling, commissioned by the Care Department of the Flemish Government, 15 p. Delahaye L, Bernard D, Demoor T. <https://www.vlaanderen.be/pfas-vervuiling/pfas-bloedonderzoeken-algemeen/groepsresultaten-van-het-bloedonderzoek> - https://assets.vlaanderen.be/image/upload/v1699479484/Grootschalig_bloedonderzoek_PFAS_bij_omwonenden_van_de_3M_validatie_ap_afname_vyp3bv.pdf
- Glüge, J. ; Scheringer, M. ; DeWitt, J.C. ; Goldenman, G. ; Herzke, D. ; Lohmann, R. ; Ng, C. ; Trier, X. ; Wang Z. 2002. *An overview of the uses of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS)*. Environ. Sci.: Process. Impacts, 2020, 22
- 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>

Jacques, A., Ruthy, I., Maggi, P., Remy, S., 2023a, *BioMonitoring Humain Wallon BMH-Wal : Détermination des valeurs de référence pour la population wallonne phase 1 : nouveau-nés, adolescents et adultes (20-39 ans)*, ISSeP, RP1-RAP-23-00472, version 2, Février 2023. 66p - <https://www.issep.be/bmh-wal/>

Jacques, A., Ruthy, I., Maggi, P., Remy, S., 2023b, *BioMonitoring Humain Wallon BMH-Wal : Détermination des valeurs de référence pour la population wallonne phase 2 : Enfants 3-5 ans et enfants 6-11 ans*, ISSeP, RP1-RAP-22-03535, Mars 2023. 52p - <https://www.issep.be/bmh-wal/>

Jacques, A., Ruthy, I., Maggi, P., Remy, S., 2023c, *BioMonitoring Humain Wallon BMH-Wal : Détermination des valeurs de référence pour la population wallonne phase 1 : nouveau-nés, adolescents et adultes (20-39 ans) – Substances supplémentaires*, ISSeP, RP1-RAP-23-00424, Mars 2023. 54p - <https://www.issep.be/bmh-wal/>

Jacques, A., Ruthy, I., Maggi, P., Remy, S., 2023d, *BioMonitoring Humain Wallon BMH-Wal, Méthodes d'élaboration et d'analyse des résultats* BMH-Wal. RP1-RAP-22-03537. Janvier 2023.11p.

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

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>.

NASEM, National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2022. *Guidance on PFAS Exposure, Testing, and Clinical Follow-Up*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/26156>

OECD, 2021. Reconciling terminology of the Universe of Per- and Polyfluoroalkyl substances: Recommendations and practical guidance, OECD Series on Risk Management, No. 61, OECD Publishing, Paris.

OCDE. 2022. *Fact Cards of Major Groups of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs) - Series on Risk Management (Issue 68)*. [https://doi.org/ENV/CBC/MONO\(2022\)1](https://doi.org/ENV/CBC/MONO(2022)1)

Pirard, C., Dufour, P., & Charlier, C., 2020. Background contamination of perfluoroalkyl substances in a Belgian general population. Toxicology Letters, 333:13-21. doi:10.1016/j.toxlet.2020.07.015

Schoeters, G., Verheyen, V.J., Colles, A., Remy, S., Martin, L.R., Govarts, E., 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(January):113972. doi.org/10.1016/j.ijheh.2022.113972

SFSE, 2023, *Comportement dans l'environnement - Paramètres physico-chimiques des PFAS*, Fiche pratique n°8, Evaluation et gestion des PFAS, mise à jour novembre 2023. https://www.sfse.org/article/ressources/Fiches-pratiques---Evaluation-et-gestion-des-PFAS-%28Per-et-Poly-Fluoro-Alkyls-Substances%29-useful_doc/0/lire-details/0/0/4/4/110

Zahm et al. (2024). Carcinogenicity of perfluorooctanoic acid and perfluorooctanesulfonic acid. The Lancet Oncology, 25, 1, 16-17.

8. Annexes

- 8.1 Tableaux des statistiques descriptives des PFAS dans le sang des résident.e.s de la zone de Chièvres
- 8.2 Tableaux des statistiques descriptives des PFAS dans le sang des résident.e.s de la zone de Ronquières

Résultats sous-estimés