

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

**Rapport d'analyses des imprégnations en PFAS des
résidents de la zone de Florennes**

Rapport n° : RP1-RAP-25-01195

22 avril 2025



Table des matières

Avant-propos	6
1. Contexte	Erreur ! Signet non défini.
2. Objectifs	7
3. Substances d'intérêt : PFAS.....	9
3.1 Matrice biologique et types de prélèvements	11
3.2 Valeurs de référence d'exposition wallonnes, établies en population générale.....	12
3.3 Valeurs de référence sanitaire	14
3.3.1 Définition des valeurs de référence sanitaire	14
3.3.2 Application des valeurs de référence sanitaire à l'étude BMH-Wal	15
4. Zones d'étude et populations cibles.....	17
5. Résultats préliminaires	18
5.1 Description de la population testée	19
5.2 Description des concentrations en PFAS de la population de la zone de Florennes (intra-zone) 20	
5.2.1 Fréquence de quantification	20
5.2.2 Distribution des concentrations en PFAS	22
5.3 Comparaison avec les valeurs de référence sanitaire.....	24
5.3.1 Somme PFAS NAS.....	24
5.3.2 Valeur de référence sanitaire HBM I	26
5.4 Comparaison avec la population générale wallonne.....	27
5.4.1 Comparaison des concentrations sériques	28
5.4.2 Comparaison des dépassements des valeurs de référence d'exposition (VR95)	31
5.4.3 Comparaison de la distribution des populations par rapport aux valeurs seuils santé de la somme PFAS NAS.....	32
5.5 Profils PFAS dans le sang des résidents et l'eau de distribution	34
6. Conclusions et recommandations préliminaires	36
7. Bibliographie	38
8. Annexes.....	40
8.1 Tableaux des statistiques descriptives des PFAS dans le sang des résidents de la zone de Florennes.	40
8.2 Profils PFAS des résidents de la zone de Florennes selon la classe d'âge.....	40

Liste des figures

Figure 1. Localisation de la zone d'étude	17
Figure 2. Pyramide des âges des participants de la zone de Florennes	19
Figure 3. Moyennes géométriques et percentiles du PFOA total, par classe d'âge, dans les prélèvements de sang veineux (sérum) - Zone de Florennes.....	22
Figure 4. Moyennes géométriques et percentiles du PFOS total, par classe d'âge, dans les prélèvements de sang veineux (sérum) - Zone de Florennes.....	22
Figure 5. Moyennes géométriques et percentiles du PFHxS total, par classe d'âge dans les prélèvements de sang veineux (sérum) - Zone de Florennes.....	23
Figure 6. Moyennes géométriques et percentiles du PFNA, par classe d'âge dans les prélèvements de sang veineux (sérum) – Zone de Florennes.....	23
Figure 7. Moyennes géométriques et percentiles du PFDA, par classe d'âge dans les prélèvements de sang veineux (sérum) - Zone de Florennes.....	23
Figure 8. Moyennes géométriques et percentiles du PFHpS, par classe d'âge dans les prélèvements de sang veineux (sérum) - Zone de Florennes.....	24
Figure 9. Répartition de la population de Florennes prélevés par prise de sang veineux dans les trois catégories de sommes NAS, tout âge et sexe confondus	25
Figure 10. Pourcentage de dépassement des valeurs seuils HBM I du PFOA (gauche) et PFOS (droite) des participants ayant réalisés une prise de sang veineux – Zone de Florennes.	26
Figure 11. Comparaison des imprégnations en PFOA linéaire entre les résidents de la zone de Florennes et la population wallonne, par catégorie d'âge et par sexe. Test de Mann-Whitney (* $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$). MG : moyenne géométrique, P50 : percentile 50, P95 : percentile 95.....	28
Figure 12. Comparaison des imprégnations en PFOS linéaire entre les résidents de la zone de Florennes et la population wallonne, par catégorie d'âge et par sexe. Test de Mann-Whitney (* $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$). MG : moyenne géométrique, P50 : percentile 50, P95 : percentile 95.....	29
Figure 13. Comparaison des imprégnations en PFHxS entre les résidents de la zone de Florennes et la population wallonne, par catégorie d'âge et par sexe. Test de Mann-Whitney (* $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$). MG : moyenne géométrique, P50 : percentile 50, P95 : percentile 95.....	29
Figure 14. Comparaison des imprégnations en PFNA entre les résidents de la zone de Florennes et la population wallonne, par catégorie d'âge et par sexe. Test de Mann-Whitney (* $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$). MG : moyenne géométrique, P50 : percentile 50, P95 : percentile 95.....	30
Figure 15. Comparaison des imprégnations en PFDA entre les résidents de la zone de Florennes et la population wallonne, par catégorie d'âge et par sexe. Test de Mann-Whitney (* $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$). MG : moyenne géométrique, P50 : percentile 50, P95 : percentile 95.....	30
Figure 16. Profil PFAS moyen de l'eau brute de la zone de Florennes, sur base d'analyses faites entre le 03/12/2021 et 08/02/2024 sur les deux captages de Corenne (Source des données : INASEP)	34
Figure 17. Profil moyen de contamination en PFAS des résidents de la zone de Florennes prélevés par prise de sang veineux	35

Liste des tableaux

Tableau 1. Rapports des concentrations de PFAS dans le sérum et le sang total capillaire (Eurofins, 2023)	11
Tableau 2. Médiane (P50) et valeurs de référence d'exposition (VR95), établie chez les adolescents '12-19 ans', jeunes adultes '20-39 ans' (2019-2020), et adultes '40-59 ans' (2023) en Wallonie.	12
Tableau 3. Statistiques descriptives des PFAS dans le sang des adolescents (12-19 ans), jeunes adultes (20-39 ans) et adultes (40-59 ans), selon le sexe, en population wallonne (BMH-Wal) et par sexe.	13
Tableau 4. Valeurs de référence sanitaire utilisées dans l'étude BMH-PFAS (CSI)	15
Tableau 5. Pourcentage de dépassement des valeurs HBM I pour le PFOA et PFOS des adolescentes (12-19 ans), jeunes adultes (20-39 ans) et adultes (40-59 ans) de la population générale wallonne, selon le sexe (BMH-Wal, 2023c & 2025)	15
Tableau 6. Répartition des adolescentes (12-19 ans), jeunes adultes (20-39 ans) et adultes (40-59 ans) de la population générale wallonne, dans les trois catégories « somme NAS », selon le sexe.	16
Tableau 7. Répartition des participants de la zone de Florennes par classe d'âge, selon le sexe et le type de prélèvement.	19
Tableau 8. Fréquences de quantification (%) de chaque composé PFAS dosé dans les prises de sang veineux, selon la catégorie d'âge – Zone de Florennes	21
Tableau 9. Répartition des résidents de la zone de Chièvres dans les trois catégories « somme PFAS NAS », selon la classe d'âge et le sexe – Prise de sang veineux (sérum)	26
Tableau 10. Pourcentage de dépassement des valeurs de référence sanitaire HBM I pour le PFOA et le PFOS, selon la classe d'âge et le sexe, pour les prélèvements de sang veineux – Zone de Chièvres	27
Tableau 11. Comparaison de la proportion de dépassements des valeurs de référence d'exposition de chaque PFAS dans les deux populations étudiées (zone de Florennes et BMH-Wal), selon la classe d'âge et le sexe. Les dépassements sont exprimés en pourcentage. Le nombre de personnes dépassant la VR95 (ou P95) et le nombre total de personnes sont indiqués entre parenthèses. Z-test ou test exact de Fisher ($p < 0.001$)	32
Tableau 12. Comparaison de la répartition des résidents de la zone de Florennes et de la population générale wallonne, dans les trois groupes de la somme PFAS NAS modifiée ($\leq 2 \mu\text{g/L}$, $2-20 \mu\text{g/L}$, $>20 \mu\text{g/L}$) selon la catégorie d'âge et le sexe. Les proportions sont exprimées en pourcentage, et le nombre de personnes présentes dans la catégorie concernée et le nombre total de personnes sont indiqués entre parenthèses. Test du χ^2 ou test exact de Fisher ($p < 0,001$)	33

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)

GISMONDI Eric, Chargé de projets, Cellule Environnement-Santé, Direction des Risques Chroniques

RUTHY Ingrid, Chargée de projets, Cellule Environnement-Santé, Direction des Risques Chroniques

JACQUES Aline, Chargée de projets, Cellule Environnement-Santé, Direction des Risques Chroniques

LEJEUNE Dima, Chargée de projets, Cellule Environnement-Santé, Direction des Risques Chroniques

LECLERCQ Alexandra, Collaboratrice, 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 résidents des zones de Florennes 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 Florennes 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 le 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, compte plus de 4700 molécules différentes, tous d'origine humaine (OECD, 2021). Ils sont utilisés depuis les années 1950 dans de nombreuses applications industrielles et produits de consommation (textiles, emballages, cosmétiques, poêles...) (OECD, 2022).

Les PFAS sont connus sous le nom de « produits chimiques éternels » car ils sont extrêmement persistants dans notre environnement et dans notre corps. 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, principalement les composés perfluoroalkyls acides tels que le perfluorooctane sulfonate (PFOS), l'acide perfluorooctanoïque (PFOA) ou l'acide perfluorohexane sulfonique (PFHxS), peuvent avoir des effets néfastes sur les humains, les animaux et l'environnement. Ces effets peuvent différer d'un PFAS à l'autre, bien que les effets toxiques des PFAS acides soient similaires. 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 à Zwiindrecht), 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

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

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. 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, entrée en vigueur par la suite, en date du 20 février 2025². Le monitoring PFAS des eaux de distribution wallonnes, confié à la SWDE, a commencé en septembre 2023. Le monitoring a été accéléré de manière à pouvoir disposer d'une vue exhaustive de la situation avant la fin de l'année 2023. Ainsi, 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 Ronquières³ (novembre 2023) ou encore à Nandrin (décembre 2023). Le 22 novembre 2023, le Gouvernement wallon a mis en place un Conseil Scientifique Indépendant PFAS (CSI), composé d'experts, 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.) dans un échantillon de la population ciblée, représentatif de celle-ci. Il permet d'obtenir une estimation de l'exposition réelle et globale des personnes aux substances, toutes sources et voies d'exposition confondues et ainsi, d'établir des conclusions pour l'ensemble de la population ciblée.

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

² Selon la Directive européenne 2020/2184 qui constitue aujourd'hui le cadre réglementaire européen en matière d'eau potable, cette norme devait entrer en vigueur au 1er janvier 2026. Le Gouvernement wallon a adopté l'arrêté avançant à 2025 la norme PFAS fixant à 100 ng/l (0,10 µg/l) dans l'eau de distribution. Cette norme entre en vigueur le 20 février 2025.

³ Le 10/11/2023, le résultat d'analyse indique une valeur de 106 ng/l dans l'eau distribuée à Ronquières. La contre-analyse du 15/11/2023 indique une valeur de 97 ng/l.

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'exposition⁴ pour chaque substance chimique analysée. 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 et de 6-11 ans, les adolescents (12-19 ans), les jeunes adultes (20-39 ans) et 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 les échantillons de sang des adolescents et adultes. Chez les enfants de 3-5 ans et de 6-11 ans, 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 pour PFAS-20 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 déterminées 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 étudiées, en concertation avec le Conseil Scientifique Indépendant PFAS.

3. Substances d'intérêt : PFAS

Les PFAS sont des substances chimiques synthétisées depuis les années 1950. Elles forment un groupe hétérogène de molécules aliphatiques dont les chaînes de carbone peuvent être entièrement fluorées (appelés perfluorés) ou partiellement fluorées (appelés polyfluorés). 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.

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. (OECD, 2022 in

⁴ 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.

Fiche n°8-SFSE, 2023). Etant donné leurs propriétés hydro-oléofuges, ces substances sont également utilisées dans les surfaces antiadhésives pour les ustensiles et batteries de cuisine, le traitement antitache de tapis et tissus et comme agent tensioactif, mouillant, émulsifiant ou dispersant de certaines crèmes cosmétiques (ATSDR, 2018; Kissa, 2001; Lindstrom *et al.*, 2011). Les PFAS sont également 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).

L'utilisation des PFOS, PFOA et PFHxS a été réduite 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. Du fait que ces composés ne sont pas métabolisés et sont très lentement éliminés, ils s'accumulent dans l'organisme à des niveaux variables selon le composé et sa demi-vie. Leur dosage dans le sang reflète généralement une exposition à long terme.

L'exposition aux PFAS a été reliée à une série d'effets néfastes pour la santé, sans toutefois 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, cancérogènes, 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, dès 2014, le PFOA comme un cancérogène possible pour l'Homme (Groupe 2B), notamment pour les cancers des reins et des testicules (Benbrahim-Tallaa, 2014). En novembre 2023, le groupe de travail de l'IARC réévalue les effets cancérogènes du PFOA et PFOS et classe le PFOA comme « cancérogène » (Groupe 1) et le PFOS comme « cancérogène possible » (Groupe 2B) (Zahm *et al.* 2024).

Dans le cadre du biomonitoring BMH-PFAS mené dans les zones ayant été alimentées, à un moment donné, par une eau de distribution dont les concentrations en PFAS ont dépassé la future norme de 100 ng/l PFAS-20, 19 composés PFAS différents ont été recherchés et analysés dans les échantillons de sang (sérum) prélevé par ponction veineuse. La liste des 19 composés PFAS est la suivante :

- | | | | |
|-----------------|------------------|---------|----------|
| • PFOA linéaire | • PFOS total | • PFHpA | • PFBS |
| • PFOA ramifiés | • PFHxS linéaire | • PFHpS | • PFPeA |
| • PFOA total | • PFHxS ramifiés | • PFNA | • PFDoDA |
| • PFOS linéaire | • PFHxS total | • PFDA | • PFUnda |
| • PFOS ramifiés | • PFHxA | • PFBA | |

3.1 Matrice biologique et types de prélèvements

Comme indiqué précédemment, les PFAS se lient aux protéines du sang une fois dans le corps. De ce fait, l'analyse des concentrations en PFAS dans la matrice sanguine, et plus précisément dans le sérum, est la méthode la plus adéquate pour évaluer l'imprégnation en PFAS d'un individu. Le prélèvement sanguin par ponction veineuse, c'est-à-dire la prise de sang classique, est privilégié, car il permet d'obtenir un volume plus important (plusieurs ml de sang) et notamment la quantité minimale requise, soit 2 ml. Le surplus d'échantillon de sang prélevé permet de refaire l'analyse, le cas échéant (suite, par exemple, à un problème analytique), ou encore de conserver une partie de l'échantillon 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, d'autant plus suite au stress et à l'agitation de l'enfant. Dès lors, une méthode alternative de prélèvement sanguin est proposée, à savoir un prélèvement de sang capillaire au bout du 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. Ce prélèvement se fait à l'aide d'un dispositif de micro-prélèvement volumétrique par adsorption Mitra® (VAMS). 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.

Les PFAS se recherchent dans le sérum, obtenu (par centrifugation) du sang veineux prélevé par la prise de sang classique. Le type de prélèvement par piqûre au doigt fournit, quant à lui, un échantillon de sang total capillaire dans lequel sont dosés les PFAS (il n'est pas possible d'extraire du sérum avec ce type de prélèvement). Le laboratoire en charge du dosage des PFAS de cette étude a mis au point une méthodologie basée sur une étude américaine (Courtney *et al*, 2023), permettant d'obtenir des résultats similaires à ceux obtenus lors d'un prélèvement de sang veineux classique. Différents tests ont permis de valider cette méthodologie pour 13 composés PFAS différents, au lieu des 19 analysés en prise de sang classique. Un facteur de conversion, par composé PFAS, est appliqué aux résultats sur le sang total capillaire pour estimer les équivalents sériques (Eurofins, 2023 ; Delahaye et al, 2023). Les équivalents sériques pour le sang capillaire ont été calculés comme suit : équivalent sérique (µg/l) = concentration mesurée dans le sang capillaire (µg/l) x rapport médian. Les facteurs de conversion utilisés par le laboratoire sont présentés dans le Tableau 1

Tableau 1. Rapports des concentrations de PFAS dans le sérum et le sang total capillaire (Eurofins, 2023)

PFAS	Ratio médian (95 %IC)	PFAS	Ratio médian (95 %IC)
PFOA linéaire	2.12 (2.08-2.16)	PFHxS linéaire	2.04 (2.00-2.07)
PFOA linéaire+ramifiés (PFOA total)	2.12 (2.08-2.16)	PFHxS linéaire+ramifiés (PFHxS total)	2.04 (2.00-2.07)
PFOS linéaire	1.90 (1.87-1.92)	PFNA	2.12 (2.08-2.16)
PFOS ramifiés	1.90 (1.87-1.92)	PFDA	1.83 (1.77-1.90)
PFOS linéaire+ramifiés (PFOS total)	1.90 (1.87-1.92)	PFUnDa	1.54 (1.45-1.72)
PFHpS	2.20 (2.15-2.25)		

Les composés 13 PFAS recherchés dans les échantillons de sang total prélevé au bout du doigt sont :

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

Les résultats obtenus de ces analyses sont exprimés en µg/l équivalent sérum.

3.2 Valeurs de référence d'exposition wallonnes, établies en population générale

Depuis mai 2023, via le programme BMH-Wal, la Wallonie dispose de valeurs de référence d'exposition (établies en population générale) pour 7 PFAS, pour les nouveau-nés, les adolescents (12-19 ans), les adultes (20-39 ans et 40-59 ans). Les valeurs de référence (VR95), ainsi que le percentile (P50, médiane) utilisés pour la comparaison avec les imprégnations mesurées chez les populations étudiées dans le projet BMH-PFAS, sont présentés dans le Tableau 2.

Tableau 2. Médiane (P50) et valeurs de référence d'exposition (VR95), établie chez les adolescents '12-19 ans', jeunes adultes '20-39 ans' (2019-2020), et adultes '40-59 ans' (2023) en Wallonie.

PFAS (µg/l) – Sang veineux	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	1,60	0,60	1,60	0,79	2,00
PFOA linéaire	1,12	2,00	1,12	2,00	1,06	2,50
PFNA	0,28	0,71	0,35	0,71	0,40	0,97
PFOS linéaire	1,66	6,60	1,96	6,60	2,51	8,60
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 3. Pour chacun des 7 composés 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 3. Statistiques descriptives des PFAS dans le sang des adolescents (12-19 ans), jeunes adultes (20-39 ans) et adultes (40-59 ans), selon le sexe, en population wallonne (BMH-Wal) et par sexe.

Catégorie d'âge	Genre	N	LOQ	N<LOQ	Min-Max	MG [95% CI]	P5	P25	P50	P75	P90	P95 [95% CI]	p-value MW
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

3.3.1 Définition des valeurs de référence sanitaire

Les valeurs de référence sanitaire (VRS) permettent d'évaluer 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 qui n'ont pas exactement la même signification selon leur méthode de détermination.

Sur base des meilleures références scientifiques actuelles, les experts du Conseil Scientifique Indépendant PFAS⁵ (CSI) ont retenu, mi-avril 2024, les valeurs-seuils santé en lien avec l'exposition humaine aux PFAS, définies par la Commission Nationale de Biomonitoring allemande (Apel *et al*, 2017) et National Academies of Sciences (NAS) (NASEM, 2022).

Les valeurs HBM sont des VRS proposées par la Commission Nationale de Biomonitoring allemande (Apel *et al*, 2017) sont dérivées de données épidémiologiques ou toxicologiques selon des méthodes scientifiques clairement décrites et sont régulièrement actualisées en fonction de l'évolution des connaissances. Les valeurs HBM sont établies pour la population générale, pour une exposition durant une vie entière à la concentration considérée, mais aussi pour des groupes de population ou des périodes particulières de la vie (femmes en âge de procréer, enfants, adolescents, 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 peuvent apparaître. 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 pas 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'action⁶. Des valeurs HBM existent pour le PFOA et le PFOS dans le sang.

Les valeurs seuils définies par les NAS, à savoir 2 µg/l et 20 µg/l, pour la somme de plusieurs PFAS, qui est l'addition des concentrations en PFOA (linéaire et ramifiés), PFOS (linéaire et ramifiés), PFHxS, PFNA, PFDA, PFUnDA et MeFOSAA.

⁵ Ce conseil d'experts indépendants a été mis en place, en novembre 2023, par le Gouvernement wallon

⁶<https://www.canada.ca/fr/services/sante/publications/science-recherche-et-donnees/equivalents-biosurveillance-outil-evaluation-donnees-echelle-population.html#a421>

Pour une somme PFAS NAS inférieure à 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.

Comme convenu avec l’autorité et le CSI, l’ISSEP a utilisé ces valeurs seuils santé pour le présent rapport (Tableau 4).

Tableau 4. 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		Apel <i>et al.</i> 2017
	PFOS	5		Apel <i>et al.</i> 2017
	Somme PFAS NAS*		2 20	CSI PFAS NASEM, 2022
*PFOA (linéaire et ramifiés) + PFOS (linéaire et ramifiés) + PFHxS + PFNA + PFDA + PFUnDA + MeFOSAA				

3.3.2 Application des valeurs de référence sanitaire à l’étude BMH-Wal

Ces VRS ont été appliquées aux données d’imprégnation obtenues lors des différentes phases du programme BMH-Wal en population générale (Tableau 2). Les résultats montrent les pourcentages de la population, selon l’âge et le sexe, ayant des concentrations en PFOA et PFOS, inférieures et supérieures à leur valeur HBM I respective (Tableau 5). L’analyse de ces résultats met en évidence que les adultes de 40-59 ans présentent les taux de dépassement les plus élevés, pouvant atteindre presque 20%, notamment pour le PFOS chez les hommes.

Tableau 5. Pourcentage de dépassement des valeurs HBM I pour le PFOA et PFOS des adolescentes (12-19 ans), jeunes adultes (20-39 ans) et adultes (40-59 ans) de la population générale wallonne, selon le sexe (BMH-Wal, 2023c & 2025)

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	Tous	Femme	Homme	Tous
12-19 ans	95,6%	92,8%	94,2%	4,4%	7,2%	5,8%
20-39 ans	94,7%	90,3%	93,0%	5,3%	9,7%	7,0%
40-59 ans	91,1%	86,2%	88,7%	8,9%	13,8%	11,3%
PFOS						
	Femme	Homme	Tous	Femme	Homme	Tous
12-19 ans	95,6%	87,8%	91,3%	4,4%	12,2%	8,7%
20-39 ans	94,1%	92,2%	93,0%	5,9%	7,8%	7,0%
40-59 ans	89,8%	80,7%	85,1%	10,2%	19,3%	14,9%

Dans le programme BMH-Wal, seuls 7 composés PFAS ont été analysés. De ce fait, la somme NAS calculée est incomplète puisque les composés PFAS suivants n’ont pas été dosés : MeFOSAA, PFUnDA, PFOS ramifiés et PFOA ramifiés. Les valeurs de la somme NAS calculées en population générale wallonne sont donc sous-estimées (Tableau 6). Certains PFAS, à prendre en compte dans le calcul de la

somme NAS, n'ont pas ou peu été quantifiés chez certains individus de la population étudiée. Dès lors, pour suivre le principe de précaution et selon la méthode d'imputation par la limite haute, les mesures inférieures à la limite de quantification (<LOQ) ont été remplacées par la valeur de la limite de quantification (LOQ).

Tableau 6. Répartition des adolescentes (12-19 ans), jeunes adultes (20-39 ans) et adultes (40-59 ans) de la population générale wallonne, dans les trois catégories « somme NAS », selon le sexe.

Wallonie	Somme NAS								
	≤2 µg/l			entre 2 et 20 µg/l			> 20 µg/l		
	Femme	Homme	Tous	Femme	Homme	Tous	Femme	Homme	Tous
12-19 ans	8,0%	1,4%	4,7%	90,5%	95,7%	93,1%	1,5%	2,9%	2,2%
20-39 ans	7,9%	2,9%	5,9%	91,4%	96,1%	93,3%	0,7%	1,0%	0,8%
40-59 ans	8,3%	3,4%	5,9%	90,4%	96,6%	93,4%	1,3%	0,0%	0,7%

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 dans une zone contaminée en PFAS ou desservie par de l'eau de distribution où des dépassements du seuil de 100 ng/l PFAS-20 ont été mesurés.

Le présent rapport concerne les résultats des localités de Flavion, Corenne et Rosée (commune de Florennes), appelée dans la suite du document : Zone de Florennes (Figure 1).

L'eau distribuée dans la zone de Florennes provient de deux captages C1 et C2 de Corenne, gérés par l'Intercommunale Namuroise de Services Publics (INASEP⁷). Des analyses⁸ de l'eau brute réalisées en novembre 2023 ont montré des dépassements de la future norme de 100 ng/L PFAS-20. Lors du constat du dépassement de la future norme, les captages de Corenne ont été mis à l'arrêt et l'alimentation en eau a été faite avec les eaux d'exhaure venant de la carrière Berthe. Aucun dépassement de cette future norme n'a jamais été observé au niveau de l'eau distribuée (eau du robinet).

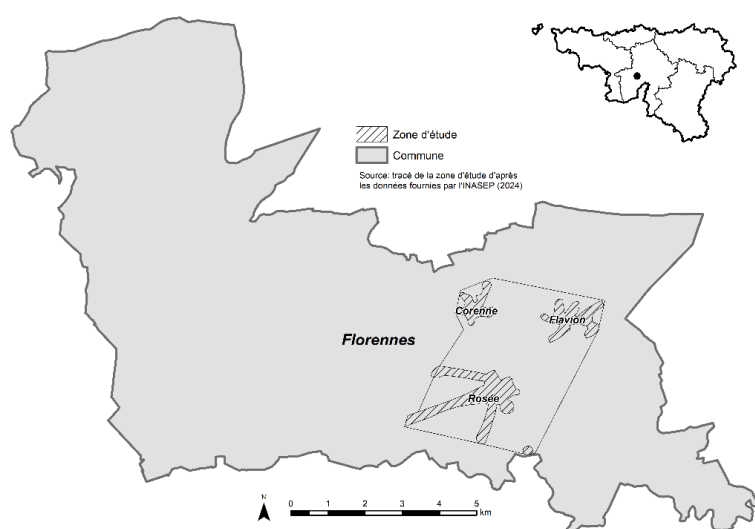


Figure 1. Localisation de la zone d'étude

Les périmètres exacts, liste des rues et numéros d'habitations desservies, ont été communiqués à l'équipe-projet par l'INASEP, qui est le distributeur d'eau dans cette zone, afin de cibler uniquement les citoyens résidant dans la zone impactée.

Cette étude est ouverte aux résidents de la zone étudiée, quel que soit l'âge. Des critères spécifiques peuvent être établis selon la zone.

La vérification des coordonnées effectuée, chaque participant doit donner son accord de participation écrit à la totalité de l'étude, c'est-à-dire accepter de réaliser le volet enquête par questionnaire, le prélèvement sanguin, les analyses, le stockage des échantillons en biobanque, en signant une attestation de consentement. Lorsque le participant est mineur, l'accord est demandé au parent/tuteur légal.

⁷ <https://www.inasep.be/>

⁸ pour CORENNE C1, un léger dépassement de la future norme de 100ng/l (110 ng/l) et une concentration inférieure mais proche de la future norme (97 ng/l) pour CORENNE C2. Source : <https://www.inasep.be/actualites/presence-de-pfas-dans-leau-de-distribution-deau-communication-importante-aux-habitants>

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), en signant le même document d'attestation de consentement.

5. Résultats préliminaires

Une banque de données a été créée afin d'organiser de manière structurée le set conséquent de données collectées. Ainsi, les données sont classées par classe d'âge et par type de prélèvements sanguins. Sept classes d'âge ont été définies, identiques à celles retenues dans le programme BMH-Wal. Pour rappel, deux types de prélèvements ont été réalisés dans cette étude : prise de sang classique (sang veineux) et prélèvement de sang au bout du doigt (sang capillaire).

Ce chapitre du rapport est consacré à l'analyse préliminaire des données d'imprégnation obtenues pour la zone de Florennes. 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).

Dans un premier temps, une analyse descriptive des biomarqueurs d'exposition analysés est réalisée afin de déterminer : la moyenne géométrique, la fréquence de quantification de chaque PFAS, les minimum-maximum et les percentiles 5, 25, 50, 75 et 95.

Ensuite, une analyse comparative est réalisée par rapport aux valeurs de référence sanitaire (HBM I et somme NAS), préconisées par le CSI, afin d'évaluer les pourcentages de la population testée dépassant ces VRS et les éventuelles conséquences de cette exposition sur la santé de la population étudiée.

Une comparaison aux valeurs de référence d'exposition wallonnes, issues du programme BMH-Wal, permet de déterminer si une surexposition de la population testée a eu lieu. Pour cela, des analyses statistiques sont menées pour comparer les imprégnations de la population testée de la zone de Florennes et de la population de référence qui est la population générale wallonne, pour les catégories d'âge des adolescents (12-19 ans), des jeunes adultes (20-39 ans) et adultes (40-59 ans), seules catégories ayant des valeurs de référence d'exposition. Des tests de Mann-Whitney sont effectués pour déterminer s'il existe une différence statistique de distribution des valeurs d'imprégnation entre les populations d'intérêts. De même, des Z-test (ou test exact de Fisher si effectifs trop faibles) sont réalisés pour évaluer une éventuelle surexposition, en tenant compte comme référentiel de la valeur de référence 95 (VR95) établie en population générale wallonne. Le seuil de significativité est fixé à $p < 0,05$ pour les tests Mann-Whitney et $p < 0,001$ pour les Z-test ou test exact de Fisher.

Enfin, l'exposition des résidents de la zone de Florennes pouvant être liée à une contamination de l'eau de distribution, une première analyse des résultats met en perspective le profil PFAS de l'eau de distribution avec les profils d'imprégnation en PFAS de la population étudiée, afin d'appréhender les éventuelles similitudes.

Toutes les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel XLStat (Addinsoft, 2022).

- **La population testée est divisée en 7 classes d'âge : < 3 ans, 3-5 ans, 6-11 ans, 12-19 ans, 20-39 ans, 40-59 ans et ≥ 60 ans.**
- **L'exploitation des résultats est faite, distinctement, selon le type de prélèvement sanguin : prise de sang veineux (prise de sang classique) et prélèvement de sang capillaire (piqûre au bout du doigt).**

5.1 Description de la population testée

La campagne d’information des citoyens de la zone de Florennes a été lancée en juillet 2024. Les séances de prélèvements sanguins ont eu lieu entre août et octobre 2024. Au total, sur la zone de Florennes, 144 résidents ont participé, soit environ 9,6 % de l’effectif maximal potentiel.

Toute la population résidant dans la zone de Florennes était invitée à participer, quel que soit l’âge. Les classes d’âge ont été choisies notamment pour suivre celles étudiées dans le programme wallon de biomonitoring humain, BMH-Wal. La répartition de la population échantillonnée selon la classe d’âge est présentée dans le Tableau 7 et la Figure 2, en tenant compte du type de prélèvement (prise de sang veineux et prélèvement de sang capillaire au bout du doigt). De manière générale, très peu de prélèvements ont été faits au bout du doigt. Par ailleurs, les classes d’âge 20-39 ans, 40-59 ans et plus de 60 ans sont les plus représentées. Enfin, il est observé, pour ces classes d’âge, que plus de femmes ont participé à l’étude.

Tableau 7. Répartition des participants de la zone de Florennes par classe d’âge, selon le sexe et le type de prélèvement.

Classe d'âge	Total		Prise de sang		Prélèvement bout du doigt	
	Femme	Homme	Femme	Homme	Femme	Homme
<3 ans	N=2 50,0% 50,0%		N=1 0,0% 50,0%		N=1 50,0% 0,0%	
3-5 ans	N=5 40,0% 60,0%		N=3 40,0% 20,0%		N=2 0,0% 40,0%	
6-11 ans	N=7 71,4% 28,6%		N=5 42,8% 28,6%		N=2 28,6% 0,0%	
12-19 ans	N=3 33,3% 66,7%		N=3 33,3% 66,7%		N=0 0,0% 0,0%	
20-39 ans	N=34 64,7% 35,3%		N=34 64,7% 35,3%		N=0 0,0% 0,0%	
40-59 ans	N=44 59,1% 40,9%		N=44 59,1% 40,9%		N=0 0,0% 0,0%	
≥ 60 ans	N=49 42,9% 57,1%		N=48 40,8% 57,1%		N=1 2,0% 0,0%	

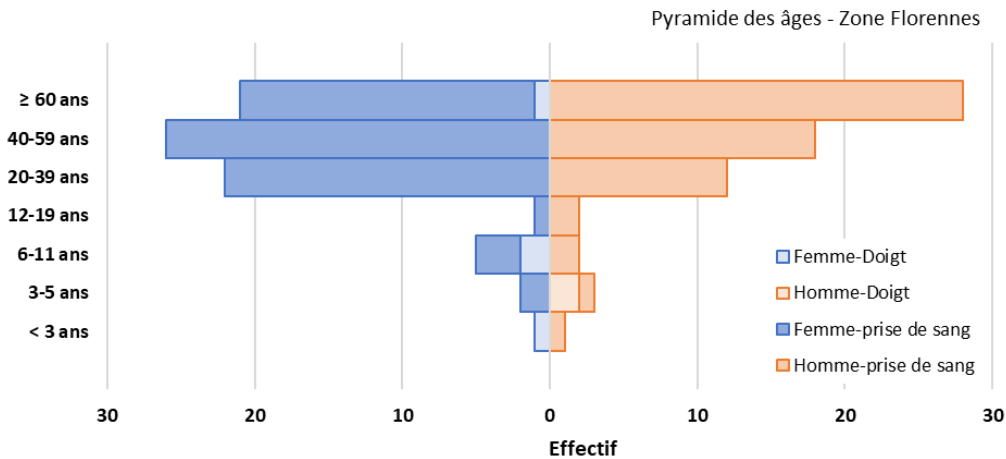


Figure 2. Pyramide des âges des participants de la zone de Florennes

- 9,6% de la population ciblée estimée a participé à la campagne de prise de sang, soit 144 résidents dans la zone de Florennes.
- Les résidents âgés de 40 ans et plus sont les plus représentés.
- Globalement, les femmes ont plus participé que les hommes
- L'âge des participants s'étend de 1 an à 85 ans.

5.2 Description des concentrations en PFAS de la population de la zone de Florennes (intra-zone)

Ce sous-chapitre présente les résultats du dosage des PFAS recherchés dans le sang des participants de la zone de Florennes, avec d'abord une interprétation des résultats de la zone, y compris vis-à-vis des valeurs de référence sanitaire, suivie d'une comparaison avec la population de référence, *a priori* non (sur)exposée, qui sert de groupe témoin pour évaluer l'exposition des citoyens de la zone étudiée.

L'exploitation des résultats a été faite de manière séparée selon le type de prélèvement sanguin. Toutefois, le nombre de prélèvements au bout du doigt étant très faible, d'autant plus rapporté par classe d'âge (Tableau 7), aucune analyse statistique n'a été effectuée. Quelques statistiques descriptives pour les 13 composés PFAS analysés dans les échantillons prélevés par piqure dans le doigt (sang total capillaire – équivalent-sérum), par classe d'âge et selon le sexe, sont reprises en annexe, à titre informatif.

5.2.1 Fréquence de quantification

Les fréquences de quantification (%N>LOQ) des prélèvements de sang veineux sont reprises dans le Tableau 8. Sur les 19 composés PFAS analysés, 7 sont peu ou pas retrouvés dans le sang des habitants de la zone de Florennes, quel que soit l'âge (%N>LOQ inférieur à 10%, sauf pour 2 PFAS chez les plus de 60 ans). Il s'agit du PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA ramifiés, PFDoDA et PFBS. A l'inverse, 7 composés PFAS sont retrouvés chez tous les participants, des plus jeunes aux plus âgés (%N>LOQ égal à 95-100%). Il s'agit du PFOA (linéaire et total), du PFHxS (linéaire et total) et PFOS (linéaire, ramifiés et total). Enfin, les PFNA, PFDA, PFUnDa, PFHxS ramifiés et PFHpS sont également quantifiés dans la plupart des échantillons (en moyenne de 12,6% à 65,9% de quantification).

On observe, pour les composés PFAS qui ne sont pas quantifiés à 100 % dans tous les âges, que le taux de quantification augmente avec l'âge. Ceci est particulièrement visible pour le PFUnDA ou le PFHxS ramifiés.

Toutes les statistiques descriptives, pour les 19 composés PFAS analysés dans les échantillons prélevés par prise de sang veineux, par catégorie d'âge et selon le sexe, sont reprises en annexe. Ces tableaux comprennent, pour chaque PFAS, la moyenne géométrique, les minimum et maximum et les percentiles 5, 25, 50, 75 et 95.

Tableau 8. Fréquences de quantification (%) de chaque composé PFAS dosé dans les prises de sang veineux, selon la catégorie d'âge – Zone de Florennes

Classe d'âge	N	PFBA	PFPeA	PFHxA	PFHpA	PFOA ramifiés	PFOA linéaire	PFOA total	PFNA	PFDA	PFUnDA	PFDoDA	PFBS	PFHxS ramifiés	PFHxS linéaire	PFHxS total	PFHpS	PFOS ramifiés	PFOS linéaire	PFOS total
< 3 ans	1	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	100,0%	0,0%	100,0%	100,0%	100,0%
3-5 ans	3	0,0%	0,0%	0,0%	66,7%	0,0%	100,0%	100,0%	100,0%	66,7%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
6-11 ans	5	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	100,0%	100,0%	80,0%	0,0%	0,0%	0,0%	80,0%	100,0%	100,0%	80,0%	100,0%	100,0%	100,0%
12-19 ans	3	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	100,0%	100,0%	33,3%	0,0%	0,0%	0,0%	33,3%	100,0%	100,0%	33,3%	100,0%	100,0%	100,0%
20-39 ans	34	2,9%	0,0%	0,0%	2,9%	0,0%	100,0%	100,0%	88,2%	61,8%	17,6%	8,8%	0,0%	38,2%	100,0%	100,0%	58,8%	100,0%	100,0%	100,0%
40-59 ans	44	0,0%	0,0%	0,0%	2,3%	0,0%	100,0%	100,0%	95,5%	75,0%	27,3%	4,5%	0,0%	75,0%	100,0%	100,0%	90,9%	100,0%	100,0%	100,0%
≥ 60 ans	48	2,1%	0,0%	0,0%	16,7%	0,0%	100,0%	100,0%	100,0%	91,7%	52,1%	8,3%	0,0%	91,7%	100,0%	100,0%	97,9%	100,0%	100,0%	100,0%

Vert foncé: Fréquence de quantification > 40%

Vert clair : Fréquence de quantification < 40%

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

Les fréquences de quantification en gris sont reprises à titre indicatif du fait du faible nombre de données dans ces classes d'âge

5.2.2 Distribution des concentrations en PFAS

Les distributions des concentrations des PFAS les plus quantifiés (fréquence de quantification > 40%) dans les prélèvements de sang veineux, par classes d'âge pour la zone de Florennes sont présentées sur les Figure 3 à Figure 8. Sur chaque graphique sont repris la moyenne géométrique (MG) et les percentiles (P5-25-50-75-95). Un faible nombre d'échantillons a été prélevé par une prise de sang veineux chez les enfants de moins de 3 ans, 3-5 ans et les adolescents de 12-19 ans. Par conséquent, il n'a été possible de déterminer les paramètres statistiques pour ces classes d'âge.

De manière générale, quel que soit le PFAS considéré, les enfants de 6-11 ans (basé uniquement sur la moyenne géométrique) et les jeunes adultes de 20-39 ans sont, généralement, moins contaminés que les adultes de 40-59 ans et plus de 60 ans. Cette augmentation de la concentration sérique avec l'âge a également été observée dans le programme BMH-Wal et rapportée dans de nombreuses études (Bjerme et al., 2013 ; Ingelido et al., 2010 ; Pirard et al., 2020). En effet, les PFAS sont connus pour se bioaccumuler au cours de la vie.

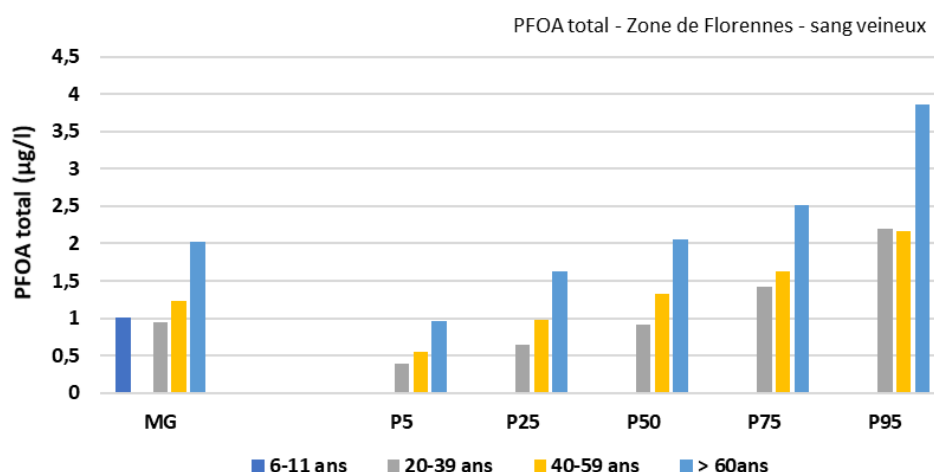


Figure 3. Moyennes géométriques et percentiles du PFOA total, par classe d'âge, dans les prélèvements de sang veineux (sérum) - Zone de Florennes

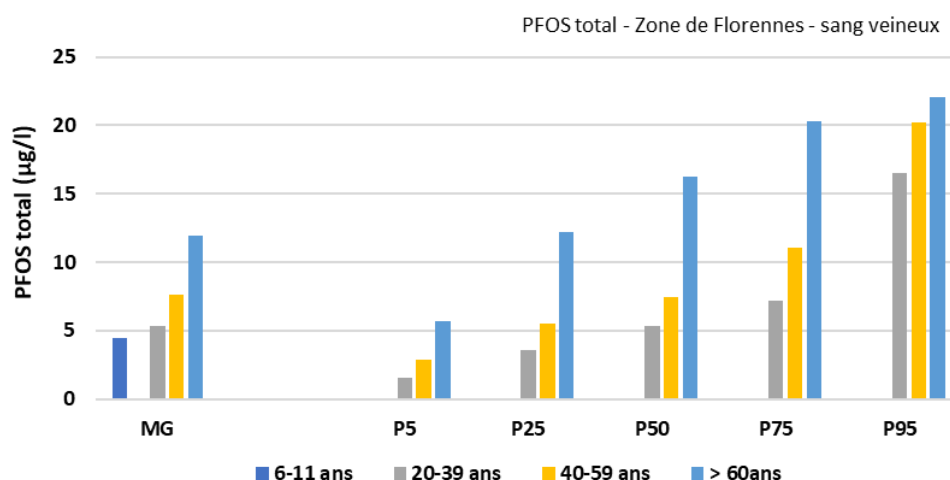


Figure 4. Moyennes géométriques et percentiles du PFOS total, par classe d'âge, dans les prélèvements de sang veineux (sérum) - Zone de Florennes

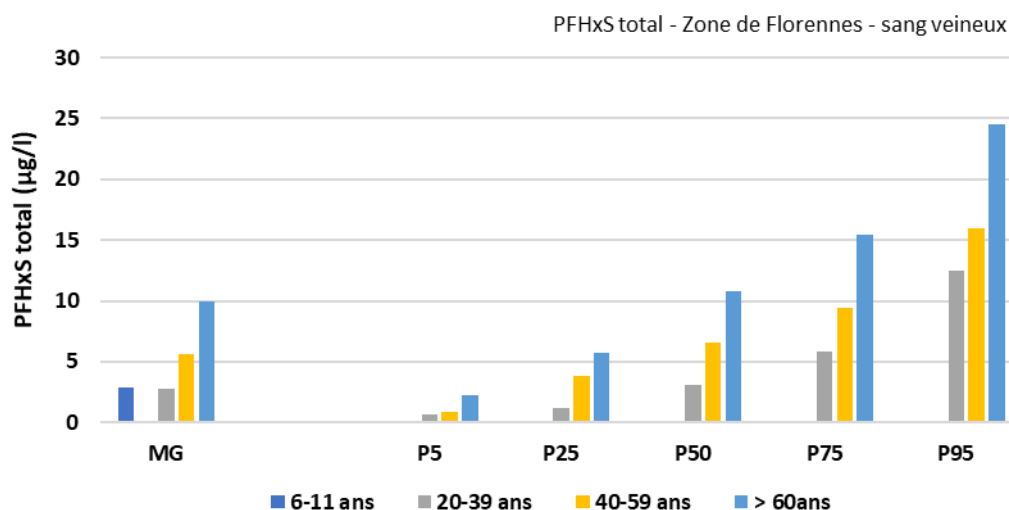


Figure 5. Moyennes géométriques et percentiles du PFHxS total, par classe d'âge dans les prélèvements de sang veineux (sérum) - Zone de Florennes

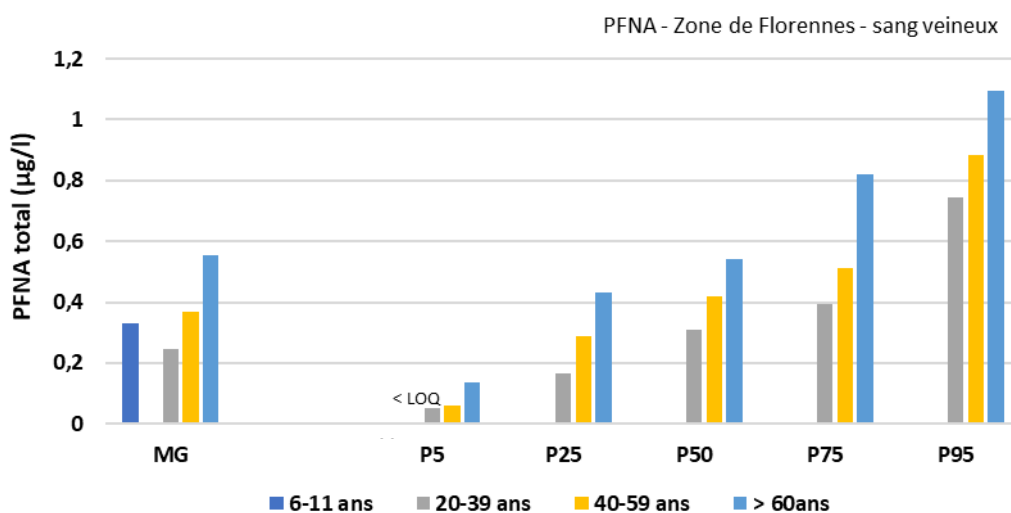


Figure 6. Moyennes géométriques et percentiles du PFNA, par classe d'âge dans les prélèvements de sang veineux (sérum) – Zone de Florennes

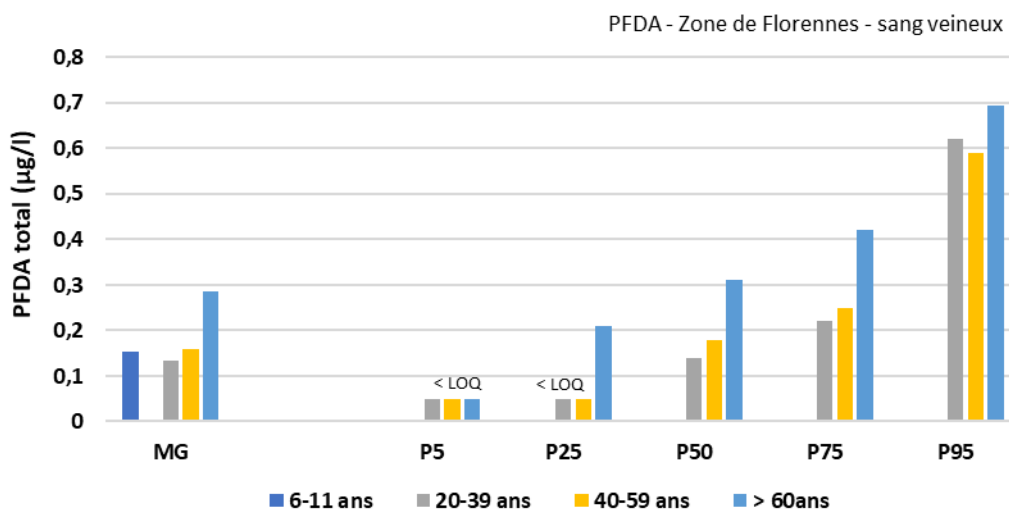


Figure 7. Moyennes géométriques et percentiles du PFDA, par classe d'âge dans les prélèvements de sang veineux (sérum) - Zone de Florennes

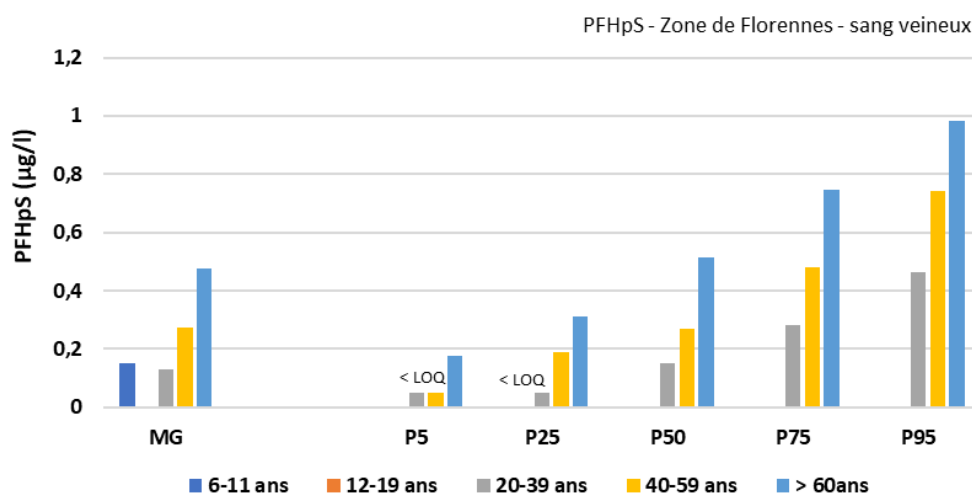


Figure 8. Moyennes géométriques et percentiles du PFHpS, par classe d'âge dans les prélèvements de sang veineux (sérum) - Zone de Florennes

Sur base des données disponibles,

- PFOS, PFOA, PFHxS sont les plus fréquemment détectés, suivi de PFNA, PFDA et PFHpS.
- PFPeA, PFHxA, PFBS, PFPeA, PFBA et PFDoDA sont très peu voire jamais détectés.
- La classe d'âge 60 ans et plus est la plus contaminée.
- La classe d'âge 20-39 ans est la moins contaminée.
- Constat similaire fait à l'échelle de la Wallonie et d'autres études internationales, et expliqué par le fait que les PFAS sont bioaccumulés au cours de la vie.

5.3 Comparaison avec les valeurs de référence sanitaire

Pour rappel, l'exploitation des résultats a été faite de manière séparée selon le type de prélèvement sanguin. Toutefois, le nombre de prélèvements au bout du doigt étant très faible, d'autant plus rapporté par classe d'âge (Tableau 7), aucune analyse statistique n'a été effectuée. Quelques statistiques descriptives pour les 13 composés PFAS analysés dans les échantillons prélevés par piqûre dans le doigt (sang total capillaire – équivalent-sérum), par classe d'âge et selon le sexe, sont reprises en annexe, à titre informatif.

5.3.1 Somme PFAS NAS

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 Indépendant PFAS (CSI). Dans le cadre de ce biomonitoring, le calcul de cette somme PFAS NAS n'est pas complet puisqu'un des PFAS repris dans la somme n'a pas été dosé, à savoir le MeFOSAA.

Pour rappel, deux valeurs seuils sont définies pour la somme PFAS NAS : 2 et 20 µg/l. 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.

Afin de prendre en considération le “principe de précaution”, lors du calcul de la somme NAS, les concentrations inférieures à la limite de quantification (<LOQ) ont été remplacées par la valeur de la LOQ, à savoir 0,1 µg/l.

La répartition dans les trois catégories des sommes PFAS NAS des participants de la zone de Florennes ayant réalisé une **prise de sang veineux** est présentée en Figure 9. La somme PFAS NAS minimale mesurée est de 1,75 µg/l pour une femme de 40-59 ans, alors que la valeur maximale observée est de 52,47 µg/l pour une femme de plus de 60 ans.

Tout âge confondu, hommes et femmes, 0,7 % des participants ne dépassent pas le seuil de 2 µg/l, 59,4 % se situent entre 2 et 20 µg/l et 39,9 % sont au-delà du seuil de 20 µg/l (Figure 9). En tenant compte de la classe d'âge, excepté les enfants de moins de 3 ans jusqu'aux adolescents 12-19 ans, dont les effectifs sont très faibles (présenté en gris dans le tableau), il est observé qu'aucun homme n'a une somme NAS inférieure à 2 µg/l et que seulement 1 femme de 40-59 ans ne dépasse pas le seuil de 2 µg/l. Par ailleurs, toujours selon la classe d'âge, 33,3% à 81,8% des femmes et 25,0% à 75,0% des hommes ont une somme NAS comprise en 2 et 20 µg/l. Enfin, le seuil de 20 µg/l est dépassé pour 18,2% à 61,9% des femmes et 25,0% à 75,0% des hommes, selon l'âge considéré. Cette répartition des participants en fonction des seuils de la somme NAS, selon le sexe et l'âge, met en évidence que les participants les plus âgés sont plus nombreux à dépasser le seuil de 20 µg/l (Tableau 9).

Les statistiques descriptives de la somme NAS par catégorie d'âge et selon le sexe sont reprises en annexe. Les tableaux comprennent, les minimum-maximum, la moyenne géométrique, et les percentiles 5, 25, 50, 75 et 95.

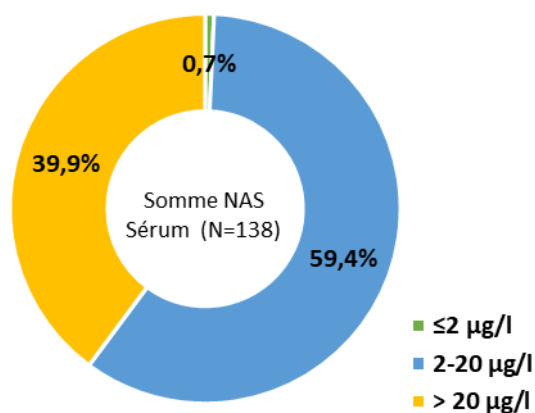


Figure 9. Répartition de la population de Florennes prélevés par prise de sang veineux dans les trois catégories de sommes NAS, tout âge et sexe confondus

Tableau 9. Répartition des résidents de la zone de Chièvres dans les trois catégories « somme PFAS NAS », selon la classe d'âge et le sexe – Prise de sang veineux (sérum)

	Somme PFAS NAS – Zone de Chièvres – Prise de sang veineux								
	≤2 µg/l			entre 2 et 20 µg/l			> 20 µg/l		
	Femme	Homme	Tous	Femme	Homme	Tous	Femme	Homme	Tous
<3 ans (F=0;H=1)	-	0,0%	0,0%	-	100,0%	100,0%	-	0,0%	0,0%
3-5 ans (F=2;H=1)	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	100,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
6-11 ans (F=3;H=2)	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	100,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
12-19 ans (F=1;H=2)	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	100,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
20-39 ans (F=22;H=12)	0,0%	0,0%	0,0%	81,8%	75,0%	79,4%	18,2%	25,0%	20,6%
40-59 ans (F=26;H=18)	3,8%	0,0%	2,3%	65,4%	66,7%	65,9%	30,8%	33,3%	31,8%
≥ 60 ans (F=20;H=28)	0,0%	0,0%	0,0%	33,3%	25,0%	29,2%	61,9%	75,0%	70,8%

PFAS compris de cette somme PFAS NAS : PFOA (linéaire et ramifiés), PFOS (linéaire et ramifiés), PFHxS, PFNA, PFDA, PFUnDA

5.3.2 Valeur de référence sanitaire HBM I

Les imprégnations en PFOS et PFOA de la population de la zone de Florennes, ayant réalisé une **prise de sang veineux**, ont été mises en perspective de leur valeur de référence sanitaire HBM I respectives, globalement et en tenant compte de la catégorie d'âge et du sexe.

Les résultats soulignent que 25,4% et 47,8% de l'ensemble de la population testée, par prise de sang veineux, dépassent respectivement les valeurs seuils HBM I pour le PFOA et le PFOS (Figure 10 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

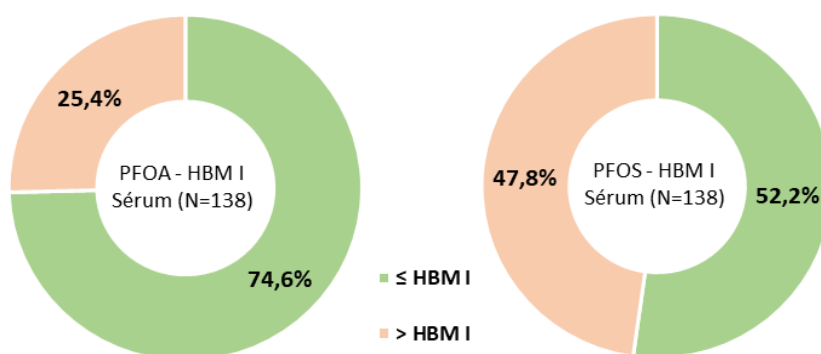


Figure 10. Pourcentage de dépassement des valeurs seuils HBM I du PFOA (gauche) et PFOS (droite) des participants ayant réalisés une prise de sang veineux – Zone de Florennes.

De manière générale, les pourcentages de dépassement, quels que soient la catégorie d'âge et le sexe, se situent entre 8,8% et 52,1% pour le PFOA et entre 20,6% et 79,2% pour le PFOS (Tableau 10). De plus, il est également observé que le pourcentage de dépassement augmente avec l'âge, quel que soit le sexe considéré. En effet, les pourcentages de dépassement des seuils HBM I sont plus élevés sont observés pour la classe d'âge de 60 ans.

Tableau 10. Pourcentage de dépassement des valeurs de référence sanitaire HBM I pour le PFOA et le PFOS, selon la classe d'âge et le sexe, pour les prélèvements de sang veineux – Zone de Chièvres

-	> HBM I		
PFOA			
	Femme	Homme	Tous
<3 ans (F=0;H=1)	0,0%	-	0,0%
3-5 ans (F=2;H=1)	50,0%	100,0%	66,7%
6-11 ans (F=3;H=2)	0,0%	0,0%	0,0%
12-19 ans (F=1;H=2)	0,0%	0,0%	0,0%
20-39 ans (F=22;H=12)	4,5%	16,7%	8,8%
40-59 ans (F=26;H=18)	15,4%	5,6%	11,4%
≥ 60 ans (F=20;H=28)	55,0%	50,0%	52,1%
PFOS			
	Femme	Homme	Tous
<3 ans (F=0;H=1)	0,0%	-	0,0%
3-5 ans (F=2;H=1)	0,0%	0,0%	0,0%
6-11 ans (F=3;H=2)	33,3%	16,7%	20,0%
12-19 ans (F=1;H=2)	0,0%	50,0%	33,3%
20-39 ans (F=22;H=12)	13,6%	33,3%	20,6%
40-59 ans (F=26;H=18)	50,0%	33,3%	43,2%
≥ 60 ans (F=20;H=28)	75,0%	82,1%	79,2%

Les pourcentages des classes d'âges < 3 ans et 3-5 ans sont donnés à titre indicatif car les effectifs sont très faibles.

Sur base des données disponibles,

- **Tous prélèvements confondus**, 38,9 % des participants dépassent le seuil santé 'somme NAS' de 20 µg/l de sang retenu par le CSI au-delà duquel il y a un risque accru d'effets indésirables. 60,4 % se situent entre 2 et 20 µg/l, 0,7 % ne dépassent le premier seuil (2 µg/l).
- **Tous prélèvements confondus**, pour les composés linéaires du PFOS et du PFOA, 1 participant sur 4 (25%) a une valeur supérieure à la valeur-guide HBM I pour le PFOA, et un peu moins de 1 sur 2 a une valeur supérieure à la valeur-guide HBM I pour le PFOS (48,6%).
- De manière générale, les classes d'âges les plus âgées ont tendance à plus dépasser les valeurs seuils santé que les plus jeunes.

5.4 Comparaison avec la population générale wallonne

La comparaison des imprégnations en PFAS entre les résidents de la zone de Florennes et la population générale wallonne, a priori non (sur)exposée, ne peut se réaliser que pour les classes d'âge pour lesquelles des valeurs de référence ont été établies. Dans le cas de Florennes, la comparaison a porté sur les classes d'âge 20-39 ans et 40-59 ans. Aucune comparaison n'a pu être faite pour les adolescents de 12-19 ans du fait du faible effectif pour la population de la zone de Florennes. Ces statistiques comparatives tiennent compte également du sexe, étant donné que des différences significatives entre homme et femme ont, généralement, été observées dans l'étude BMH-Wal (Jacques *et al.*, 2023a,b,c, Jacques *et al.*, 2025) et a été effectuée à l'aide de tests statistiques de Mann-Whitney.

Lors de l'étude BMH-Wal, seuls de prélèvements de sang veineux ont été réalisés. Ainsi, la comparaison entre les études est effectuée uniquement en tenant compte de ce type de prélèvement. De plus, si des citoyens ont participé aux deux études dans la même catégorie d'âge, ils ont été retirés du jeu de données.

5.4.1 Comparaison des concentrations sériques

La comparaison des imprégnations entre les deux populations a été réalisée sur 5 PFAS. Les PFHpA et PFHxA ayant été très peu quantifiés dans les deux populations (Jacques *et al.*, 2023c, Jacques *et al.*, 2025), aucune analyse statistique n'a été possible. Les résultats de cette analyse comparative ont mis en évidence que seules les femmes de 20-39 ans de la zone de Florennes ont des concentrations en PFOA linéaire significativement 1,4 fois plus élevés que les femmes de la population générale wallonne (Figure 11). Par ailleurs, les concentrations en PFOS linéaire sont significativement 1,7 à 2,2 fois plus élevées chez les habitants de la zone de Florennes par rapport à la population générale wallonne, pour les deux classes d'âge considérées, quel que soit le sexe (Figure 12). De plus, les concentrations en PFHxS sont significativement 4,3 à 10,2 fois plus élevées chez les habitants de la zone de Florennes que celles de la population générale wallonne, selon la classe d'âge (Figure 13). Il est également observé que la différence entre les deux populations testées augmente avec l'âge (ex. différence plus élevée chez les 40-59 ans que chez les 20-39 ans).

Enfin, aucune différence significative d'imprégnation en PFDA et PFNA n'a été mise en évidence entre les deux populations étudiées (Figure 14, Figure 15).

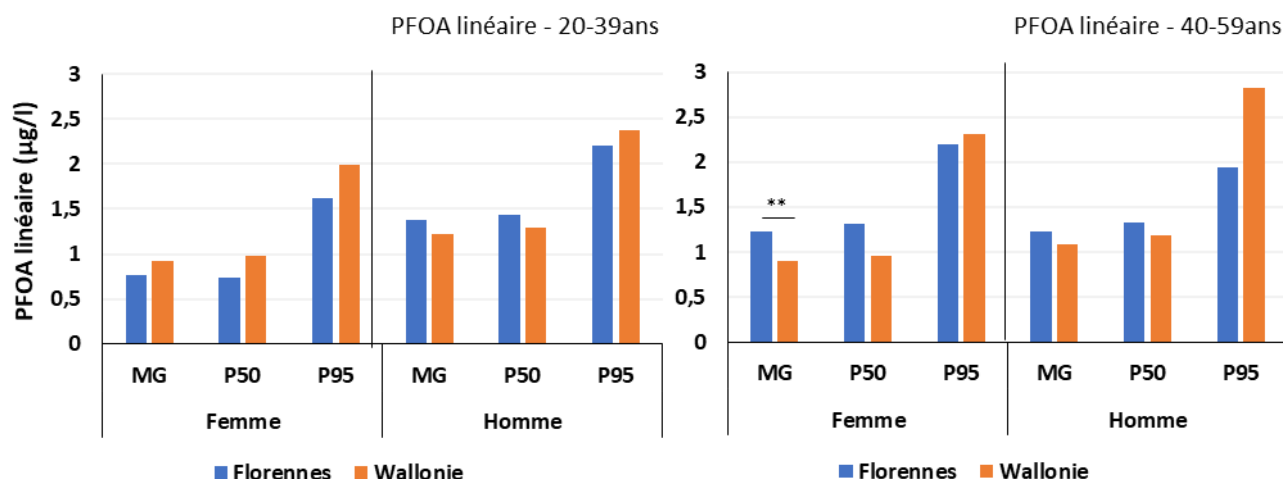


Figure 11. Comparaison des imprégnations en PFOA linéaire entre les résidents de la zone de Florennes et la population wallonne, par catégorie d'âge et par sexe. Test de Mann-Whitney (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$). MG : moyenne géométrique, P50 : percentile 50, P95 : percentile 95

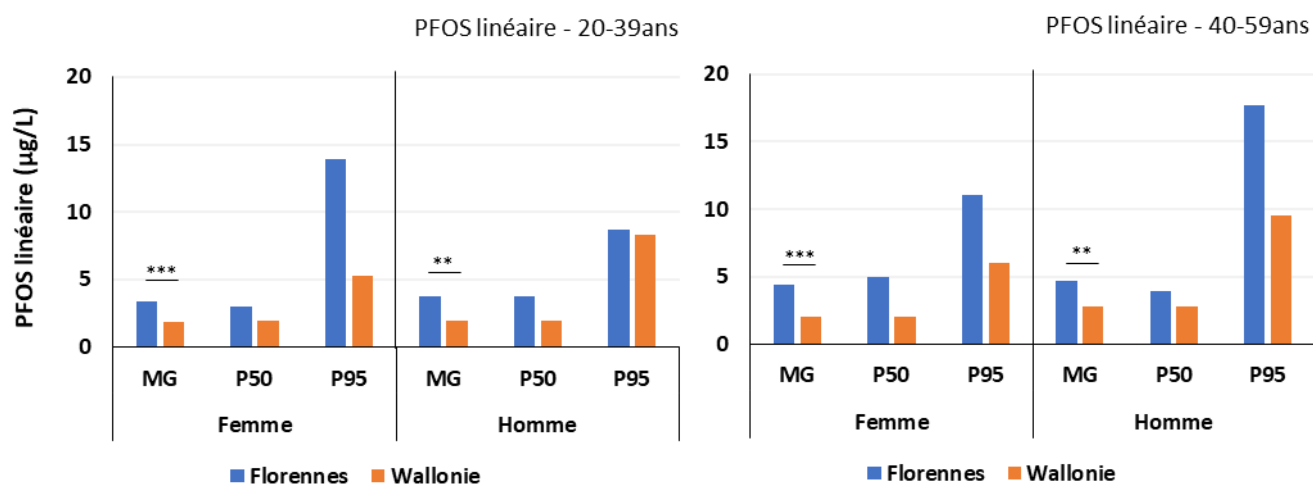


Figure 12. Comparaison des imprégnations en PFOS linéaire entre les résidents de la zone de Florennes et la population wallonne, par catégorie d'âge et par sexe. Test de Mann-Whitney (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$). MG : moyenne géométrique, P50 : percentile 50, P95 : percentile 95

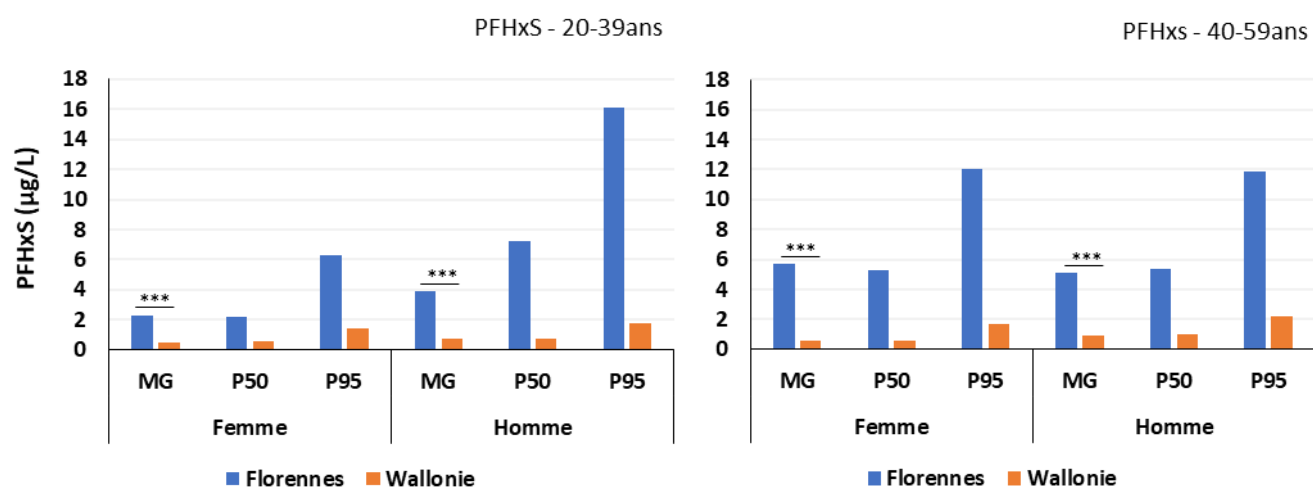


Figure 13. Comparaison des imprégnations en PFHxS entre les résidents de la zone de Florennes et la population wallonne, par catégorie d'âge et par sexe. Test de Mann-Whitney (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$). MG : moyenne géométrique, P50 : percentile 50, P95 : percentile 95.

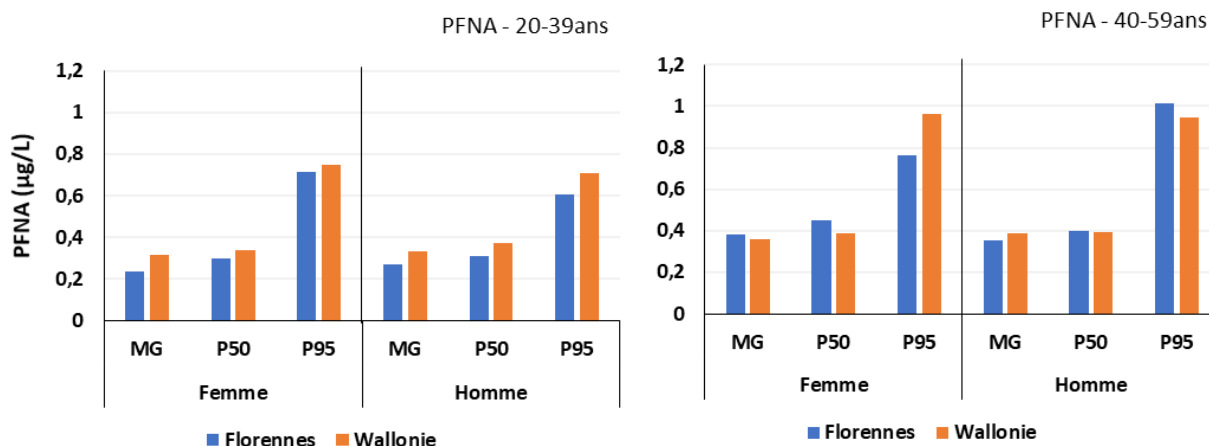


Figure 14. Comparaison des imprégnations en PFNA entre les résidents de la zone de Florennes et la population wallonne, par catégorie d'âge et par sexe. Test de Mann-Whitney (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$). MG : moyenne géométrique, P50 : percentile 50, P95 : percentile 95.

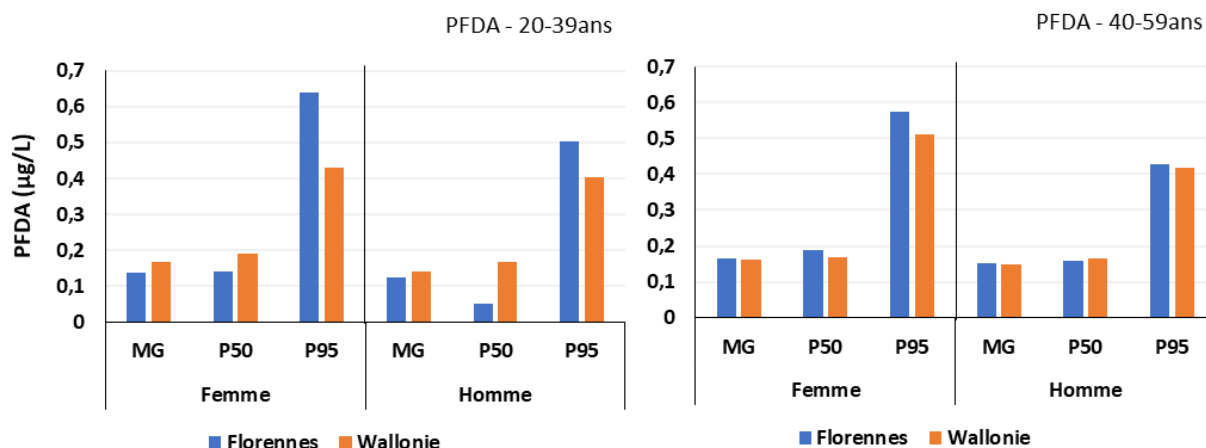


Figure 15. Comparaison des imprégnations en PFDA entre les résidents de la zone de Florennes et la population wallonne, par catégorie d'âge et par sexe. Test de Mann-Whitney (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$). MG : moyenne géométrique, P50 : percentile 50, P95 : percentile 95.

Enfin, quelles que soient la population étudiée et la catégorie d'âge, les résultats obtenus soulignent que les hommes tendent à avoir des concentrations en PFAS plus élevées que les femmes adultes (notamment PFOS et PFOA ici). Cette observation est similaire à celle faite dans de nombreuses études de biomonitoring (Jacques et al., 2023c, 2025 ; Bartolomé et al., 2017 ; Bjerme et al., 2013 ; Schoeters et al., 2022 ; Ingelido et al., 2010 ; Pirard et al., 2020) et peuvent notamment être expliquées par l'allaitement et les menstruations qui seraient des voies d'élimination additionnelle des PFAS chez les femmes (Bjerme et al., 2013 ; Pirard et al., 2020).

Bien que l'analyse comparative ait mis en évidence des différences significatives entre les concentrations en PFAS mesurées chez les résidents de la zone de Florennes et celles de la population générale wallonne (BMH-Wal), notamment pour PFOS linéaire, PFOA linéaire et PFHxS, il sera intéressant d'aller plus loin dans l'analyse statistique des données collectées de l'étude BMH-PFAS, par l'exploitation des réponses au questionnaire que chaque participant a complété. Ce travail constituera la prochaine étape du projet qui permettra d'établir des modèles statistiques plus précis et pertinents (à l'aide d'analyses multivariées) et ainsi de rechercher les déterminants d'imprégnation.

5.4.2 Comparaison des dépassements des valeurs de référence d'exposition (VR95)

Suite à la réalisation du programme BMH-Wal, la Wallonie dispose de valeurs de référence d'exposition de 7 PFAS pour plusieurs catégories d'âge, à savoir les adolescents de 12 à 19 ans, les jeunes adultes de 20 à 39 ans et les adultes de 40 à 59 ans. De ce fait, des analyses statistiques⁹ ont été effectuées afin d'évaluer si les résidents de la zone de Florennes sont significativement surexposés, par rapport à cette population témoin. Les analyses ont été faites par catégorie d'âge et en tenant compte du sexe mais également en regroupant les hommes et les femmes. Toutefois, aucune comparaison n'a pu être faite pour les adolescents de 12-19 ans du fait du faible effectif pour la population de la zone de Florennes.

Les résultats mettent en évidence une surexposition significative au PFHxS des habitants de la zone de Florennes par rapport à la population générale wallonne (Tableau 11), quels que soient la classe d'âge et le sexe. En d'autres termes, ces résultats soulignent que le nombre de résidents de la zone de Florennes dépassant les valeurs de référence d'exposition du PFHxS est plus important que le nombre de personnes dans la population générale wallonne dépassant cette même référence.

Par ailleurs, aucune surexposition des résidents de la zone de Florennes n'a été mise en évidence pour le PFOA, PFOS, PFNA et PFDA, en comparaison à la population générale wallonne.

⁹ Un Z-test a été utilisé lorsque les effectifs de chaque modalité étaient supérieurs à 10. Dans le cas contraire, un test exact de Fisher a été réalisé. Le seuil de significativité de ces tests a été fixé à 0.1%.

Tableau 11. Comparaison de la proportion de dépassements des valeurs de référence d'exposition de chaque PFAS dans les deux populations étudiées (zone de Florennes et BMH-Wal), selon la classe d'âge et le sexe. Les dépassements sont exprimés en pourcentage. Le nombre de personnes dépassant la VR95 (ou P95) et le nombre total de personnes sont indiqués entre parenthèses. Z-test ou test exact de Fisher ($p < 0.001$)

		20-39ans			40-59ans		
		Wallonie	Florennes	P-value	Wallonie	Florennes	P-value
PFHpA	<i>Femme^A</i>	3,9% (6/152)	0% (0/22)	0,994	0% (0/157)	0% (0/26)	0,500
	<i>Homme^A</i>	0% (0/103)	0% (0/12)	0,500	0,7% (1/145)	0% (0/18)	0,842
	<i>Tous^B</i>	2,4% (6/255)	0% (0/34)	0,993	0,3% (1/302)	0% (0/44)	0,842
PFHxS	<i>Femme^A</i>	5,3% (8/152)	68,2% (15/22)	<0,0001	5,1% (8/157)	88,5% (23/26)	<0,0001
	<i>Homme^A</i>	5,8% (6/103)	75% (9/12)	<0,0001	5,5% (8/145)	83,3% (15/18)	<0,0001
	<i>Tous^B</i>	5,5% (14/255)	67,6% (23/34)	<0,0001	5,3% (16/302)	86,4% (38/44)	<0,0001
PFOA	<i>Femme^A</i>	5,3% (8/152)	4,5% (1/22)	0,559	4,5% (7/157)	0% (0/26)	0,997
	<i>Homme^A</i>	5,8% (6/103)	0% (0/12)	0,994	5,5% (8/145)	0% (0/18)	0,998
	<i>Tous^B</i>	5,5% (14/255)	8,8% (3/34)	0,255	5% (15/302)	0% (0/44)	1,000
PFNA	<i>Femme^A</i>	4,6% (7/152)	4,5% (1/22)	0,505	5,1% (8/157)	3,8% (1/26)	0,618
	<i>Homme^A</i>	4,9% (5/103)	8,3% (1/12)	0,337	4,8% (7/145)	5,6% (1/18)	0,449
	<i>Tous^B</i>	4,7% (12/255)	8,8% (3/34)	0,207	5% (15/302)	4,5% (2/44)	0,550
PFOS	<i>Femme^A</i>	5,3% (8/152)	13,6% (3/22)	0,133	5,1% (8/157)	23,1% (6/26)	0,017
	<i>Homme^A</i>	5,8% (6/103)	8,3% (1/12)	0,381	5,5% (8/145)	16,7% (3/18)	0,107
	<i>Tous^B</i>	5,5% (14/255)	11,7% (4/34)	0,136	5,3% (16/302)	11,4% (5/44)	0,110
PFDA	<i>Femme^A</i>	4,6% (7/152)	18,2% (4/22)	0,053	5,1% (8/157)	7,7% (2/26)	0,319
	<i>Homme^A</i>	5,8% (6/103)	16,7% (2/12)	0,162	4,1% (6/145)	5,6% (1/18)	0,401
	<i>Tous^B</i>	5,1% (13/255)	14,7% (5/34)	0,061	4,6% (14/302)	6,8% (3/44)	0,292

^A Les comparaisons ont été faites avec les valeurs P95 respectives déterminées dans BMH-Wal

^B Les comparaisons ont été faites avec les valeurs de référence d'exposition (VR95) respectives déterminées dans BMH-Wal
Les valeurs en grisés sont indicatives car les P95 et VR95 déterminés dans BMH-Wal sont inférieurs à la LOQ.

5.4.3 Comparaison de la distribution des populations par rapport aux valeurs seuils santé de la somme PFAS NAS

Pour rappel, le CSI a retenu, mi-avril 2024, la somme PFAS NAS comme valeur de référence sanitaire, qui comporte deux seuils : 2 µg/l et 20 µg/l. Dans cette partie de l'analyse descriptive des résultats, une comparaison de la distribution des résidents de la zone de Florennes et de la population générale wallonne, par rapport à ces deux valeurs seuils de la somme PFAS NAS a été effectuée. Cette analyse statistique a permis d'évaluer la similarité ou la différence de répartition des habitants de chaque population, par rapport aux deux valeurs seuils délimitant 3 groupes : ≤ 2 µg/l, 2 à 20 µg/l et > 20 µg/l (Tableau 12). Aucune comparaison n'a pu être faite pour les adolescents de 12-19 ans du fait du faible effectif pour la population de la zone de Ronquières.

Il est important de noter que lors de l'étude BMH-Wal, 4 PFAS repris dans le calcul somme PFAS NAS n'ont été pas dosés (à savoir : MeFOSAA, PFUnDA, PFOS ramifiés et PFOA ramifiés). De ce fait, une somme PFAS NAS modifiée a été recalculée pour tenir compte de cette différence et donc ne prenant que les PFAS communs entre les deux études. Pour cette comparaison, les sommes PFAS NAS modifiées ont ainsi été calculées en additionnant les concentrations des PFAS suivants : PFHxS linéaire, PFOA

linéaire, PFOS linéaire, PFNA et PFDA. De plus, afin d'appliquer le principe de précaution, les concentrations en PFAS inférieures à la LOQ ont été remplacées par la valeur LOQ de l'étude respective.

Les résultats de cette analyse soulignent que, quels que soient la classe d'âge et le sexe, la répartition des résidents de la zone de Florennes dans les 3 groupes NAS est significativement différente de la répartition dans la population générale wallonne. En effet, ces différences se situent principalement pour le groupe NAS >20 µg/l. Pour les trois classes d'âges, et en considérant ou non le sexe, les résultats soulignent que la proportion de résidents de la zone de Florennes appartenant au groupe NAS >20 µg/l est plus importante que la proportion de la population générale wallonne ; ce qui, par conséquent, se reflète sur les groupes NAS ≤2µg/l et 2-20 µg/l où les proportions de personnes de la population générale wallonne est supérieure en comparaison à la proportion des résidents de la zone de Florennes.

Tableau 12. Comparaison de la répartition des résidents de la zone de Florennes et de la population générale wallonne, dans les trois groupes de la somme PFAS NAS modifiée (≤2 µg/L, 2-20 µg/l, >20 µg/l) selon la catégorie d'âge et le sexe. Les proportions sont exprimées en pourcentage, et le nombre de personnes présentes dans la catégorie concernée et le nombre total de personnes sont indiqués entre parenthèses. Test du Khi² ou test exact de Fisher (p<0,001).

Groupe NAS	20-39ans			40-59ans		
	Wallonie	Florennes	P-value	Wallonie	Florennes	P-value
Femme ≤2 µg/l	7,9% (12/152)	0% (0/22)		8,3% (13/157)	3,8% (1/26)	
2-20 µg/l	91,4% (139/152)	81,8% (18/22)	<0,0001	90,4% (142/157)	65,4% (17/26)	<0,0001
>20 µg/l	0,7% (1/152)	18,2% (4/22)		1,3% (2/157)	30,8% (8/26)	
Homme ≤2 µg/l	2,9% (3/103)	0% (0/12)		3,4% (5/145)	0% (0/18)	
2-20 µg/l	96,1% (99/103)	75% (9/12)	<0,0001	96,6% (140/145)	66,7% (12/18)	<0,0001
>20 µg/l	1% (1/103)	25% (3/12)		0% (0/145)	33,3% (6/18)	
Tous ≤2 µg/l	5,9% (15/255)	0% (0/34)		6% (18/302)	2,3% (1/44)	
2-20 µg/l	93,3% (238/255)	79,4% (27/34)	<0,0001	93,4% (282/302)	65,9% (29/44)	<0,0001
>20 µg/l	0,8% (2/255)	20,6% (7/34)		0,6% (2/302)	31,8% (14/44)	

PFAS compris de cette somme PFAS NAS modifiée : PFOA linéaire, PFOS linéaire, PFHxS linéaire, PFNA, PFDA

Sur base des données disponibles,

- L'analyse comparative avec la population wallonne a été menée pour les classes d'âge : 20-39 ans et 40-59 ans (aucune comparaison possible pour les adolescents 12-19 ans du fait du trop faible effectif dans la zone de Florennes)
- Les adultes de zone de Florennes sont 1,3 fois plus imprégnés en PFOA, 1,7 à 2 fois plus imprégnés en PFOS et 4,3 à 10 fois plus imprégnés en PFHxS, que la population générale wallonne.
- Il y a significativement plus de dépassements de valeurs seuils santé NAS 20 µg/l dans la population de la zone de Florennes que la population wallonne.

5.5 Profils PFAS dans le sang des résidents et l'eau de distribution

Depuis novembre 2023, plus aucun dépassement de la norme PFAS-20¹⁰ n'est constaté dans les eaux de distribution en Wallonie. 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 (maintenant entrée en vigueur depuis le 20 février 2025) avait été dépassée.

Une première approche préliminaire de comparaison du profil PFAS de l'eau de distribution de la zone concernée (avant mise en place de filtres à charbon ou approvisionnement par un autre captage) et du profil PFAS des résidents de la zone permettrait d'apporter un premier éclairage sur l'impact de ces dépassements sur la population desservie à un moment donné par cette eau. Cela permettrait également d'évaluer si l'eau de distribution pouvait être une source d'exposition mais sans toutefois pouvoir apporter la preuve irréfutable du lien de causalité. En effet, il est indispensable de pousser l'exploitation et l'analyse des données plus loin, en réalisant une étude statistique complète croisant les données d'imprégnation de la population avec les variables issues du questionnaire rempli par chaque participant. Cette analyse est en cours et permettra probablement d'apporter des réponses plus précises quant aux sources d'exposition aux PFAS de la population de Florennes.

Les profils PFAS moyen dans l'eau de distribution de la zone de Florennes ont été établis sur base des analyses réalisées sur l'eau brute de deux captages de Corenne : Corenne C1 et Corenne C2 entre le 03/12/2021 et le 08/02/2024, et en tenant compte des 13 PFAS communs analysés dans les deux matrices, l'eau de distribution et le sang des résidents de la zone de Florennes (Figure 16). Ces analyses ont souligné la présence de 8 composés PFAS dans l'eau brute de ces deux captages, à savoir : PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFBS, PFHxS, PFHpS et PFOS. Parmi ces 8 composés PFAS, les analyses met en évidence la présence majoritaire de 4 PFAS, représentant 83% de la contamination. Il s'agit du PFOS (29%), PFHxS (25%), PFPeA (17%) et PFHxA (12%). De plus, 4 autres PFAS, représentant 17% de la contamination de l'eau brute, ont également été quantifiés. Il s'agit du PFHpA (6%), PFBA (5%), PFBS (3%) et le PFOA (4%).

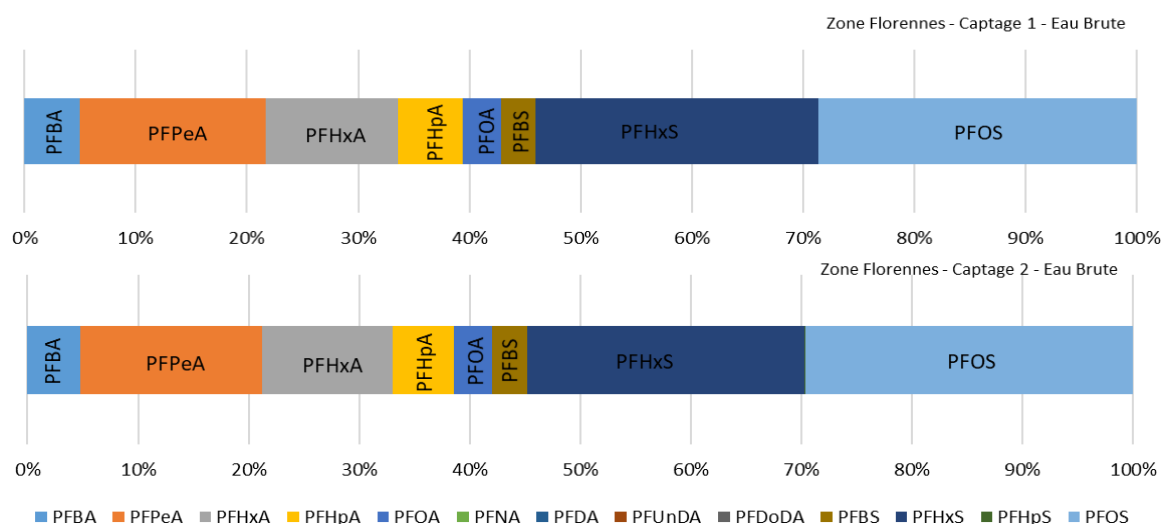


Figure 16. Profil PFAS moyen de l'eau brute de la zone de Florennes, sur base d'analyses faites entre le 03/12/2021 et 08/02/2024 sur les deux captages de Corenne (Source des données : INASEP)

¹⁰ Le paramètre 'PFAS-20' est le résultat de l'addition des concentrations de 20 PFAS dosés individuellement, à savoir, PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFDoDA, PFTrDA, PFBA, PFPeS, PFHxS, PFHpS, PFOS, PFNS, PFDS, PFUnDS, PFDoDS, PFTrDS. Paramètre pour l'eau destinée à la consommation humaine.

Le profil PFAS moyens dans le sérum (prise de sang classique) des résidents de la zone de Florennes a été établi en tenant compte de toutes les classes d'âge (Figure 17). Ce profil met en évidence la présence, essentiellement, de 6 PFAS dans le sang, à savoir : PFHxS, PFOS, PFOA, PFNA, PFBS et dans une moindre mesure PFHpS.

Les composés PFAS majoritairement présents dans l'eau brute des captages de Corenne sont le PFOS et le PFHxS. Ces derniers sont également les composés PFAS présents en plus grande proportion dans le sang des résidents de la zone desservie par les captages de Corenne (Figure 17). Le PFHxS et le PFOS représentent respectivement 37,1% et 40,3% de la contamination des résidents ayant réalisé une prise de sang veineux. Le profil moyen PFAS dans le sang des résidents montre également une proportion importante de PFOA (environ 14,5%), alors que ce composé n'est pas présent dans de fortes proportions dans les eaux brutes des captages de Corenne. En revanche, bien que les PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA et PFBS soient plus proportionnellement plus présents que le PFOA dans les eaux brutes des captages de Corenne, ils sont absents du profil moyen PFAS des résidents de la zone de Florennes.

Les profils PFAS selon la classe d'âge et le type de prélèvements sont présentés en annexe.

Ces similitudes et différences de signature (concentrations relatives) des PFAS dans l'eau de distribution et le sang des résidents de la zone ayant été desservie par cette eau doivent être investiguées plus en détail en considérant les propriétés physicochimiques (ex. volatilité, dégradabilité) et toxicocinétiques (absorption, distribution, métabolisme et élimination des PFAS dans l'organisme), mais également à travers l'analyse des questionnaires remplis par les participants, qui permettront d'évaluer les différentes sources possibles d'exposition au PFAS.

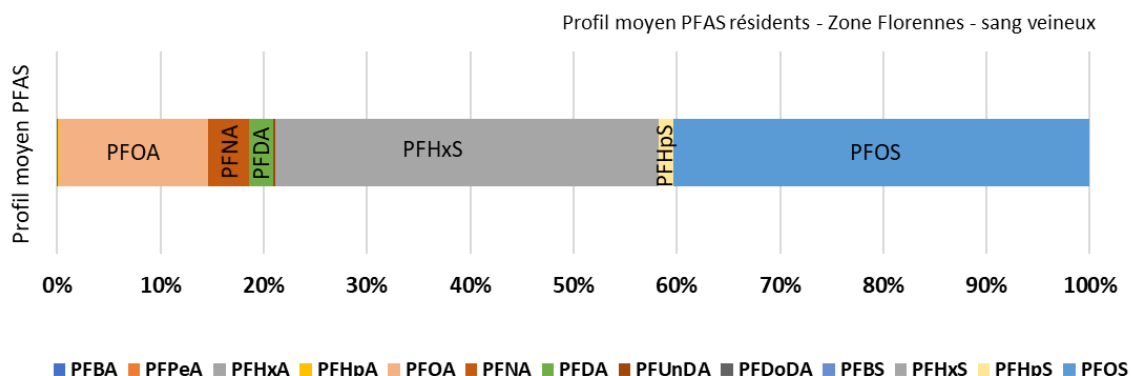


Figure 17. Profil moyen de contamination en PFAS des résidents de la zone de Florennes prélevés par prise de sang veineux

Sur base des données disponibles, le profil moyen PFAS dans le sang des résidents montre la présence, essentiellement, de 3 composés PFAS : PFHxS, PFOS, et PFOA. Etant donné que les PFHxS et PFOS sont détectés en plus grande quantité dans l'eau brute des captages, il est probable que ces dernières soient une source d'exposition. En revanche, le PFOA étant moins quantifié dans les eaux brutes, celles-ci pourraient ne pas être la source principale. En effet, d'autres sources environnementales et de consommation ne peuvent pas être négligées et doivent être explorées (l'alimentation étant connue comme source principale d'exposition aux PFAS pour la population générale). Il y a donc similitudes de profils mais aucune causalité ne peut scientifiquement être établie en l'état avec la distribution d'eau.

6. Conclusions et recommandations préliminaires

La mise en place de l'étude BMH-PFAS fait suite à l'état de la situation, exposé fin 2023, en matière de PFAS dans l'eau de distribution. Des dépassements de la norme européenne de 100 ng/l PFAS-20 (entrée en vigueur en Wallonie le 20 février 2025), ont été constatés dans plusieurs zones de distribution d'eau en Wallonie, comme pour la zone de Florennes.

Entre août et octobre 2024, 2 séances de prélèvements ont été organisées. Ainsi, 144 échantillons de sang ont été collectés chez les résidents volontaires de la zone de Florennes (138 prises de sang veineux et 6 prélèvements de sang capillaire au bout du doigt). Les classes d'âges les plus représentées sont les classes 40-59 ans et 60 ans et plus, contrairement aux classes d'âge des enfants et adolescents qui ont moins participé. De plus, les femmes ont davantage participé que les hommes. De ce fait, les résultats obtenus dans cette campagne doivent être interprétés avec précaution.

Globalement, les résultats d'imprégnations des 19 composés PFAS recherchés dans le sérum mettent en évidence que les jeunes adultes (20-39 ans) sont moins contaminés que les adultes (40 ans et plus). Cette observation corrobore les résultats de l'étude BMH-Wal en population générale wallonne et d'autres études européennes, et peut s'expliquer par le caractère bioaccumulable des PFAS. Par ailleurs, les concentrations en PFAS sont aussi généralement plus basses chez les femmes que chez les hommes, quelle que soit la catégorie d'âge.

L'analyse globale des résultats par rapport aux valeurs sanitaires (tous prélèvements confondus), retenues par le CSI, indique que 0,7% des participants est sous la valeur 2 µg/l de la somme PFAS NAS, indiquant qu'il n'y a pas d'effet attendu sur la santé. La majorité des résidents testés, 60,4%, ont une valeur somme PFAS NAS comprise entre 2 et 20 µg/l, et 38,9% de la population testée a une valeur supérieure au second seuil de la somme PFAS NAS de 20 µg/l, au-delà duquel il y a un risque accru d'effets indésirables sur la santé. De plus, en comparaison avec la population wallonne, il apparaît que les résidents de la zone de Florennes des classes d'âges 20-39 ans et 40-59 ans sont significativement plus nombreux à avoir une somme NAS >20µg/l que la population générale wallonne, quel que soit le sexe.

Concernant les valeurs sanitaires HBM I, 25% des résidents de la zone de Florennes dépassent la valeur HBM I du PFOA et 48,6% dépassent la valeur HBM I du PFOS (tous prélèvements confondus). Ces dépassements sont plus importants que ceux observés dans la population générale wallonne, où il a été déterminé que 8,2% et 10% de la population 12-59 ans dépassent respectivement les valeurs HBM I du PFOA et du PFOS.

Des différences significatives entre les imprégnations des résidents de la zone de Florennes et de la population générale wallonne sont principalement observées pour 3 composés PFAS, à savoir le PFOS linéaire, le PFOA linéaire et le PFHxS linéaire. Les concentrations en PFOS linéaire et PFOA linéaire mesurés dans le sérum sont 1,4 à 2 fois plus élevées chez les résidents de la zone de Florennes. Concernant le PFHxS, les concentrations mesurées dans le sérum des résidents de la zone de Florennes sont 4,3 à 10 fois plus élevées que celles mesurées dans la population générale wallonne, quels que soient la catégorie d'âge et le sexe considérés.

Les analyses comparatives des dépassements des valeurs de référence d'exposition démontrent une surexposition au PFHxS de la population de la zone de Florennes en comparaison à la population générale wallonne, pour les adultes de 20-39 ans et de 40-59 ans, quel que soit le sexe.

A l'issue de cette première étape du projet BMH-PFAS, des premières recommandations à destination des citoyens ont été élaborées avec l'appui du Conseil Scientifique Indépendant. Elles pourront être affinées, par la suite, lors des volets suivants de l'étude, notamment après l'analyse statistique approfondie des données d'imprégnation en regard des variables du questionnaire d'enquête.

A côté de ces recommandations concrètes pour chaque citoyen, des actions à court, moyen et long terme doivent être prises aux niveaux régional, national et européen (voire mondial) pour limiter et réduire l'exposition des citoyens. La réduction des imprégnations en PFAS passe par l'élimination d'une ou des sources d'exposition aux PFAS.

Dans la zone de Florennes étudiée, il est probable que l'eau de distribution ait été une source d'exposition pour les résidents. Cependant, actuellement, aucune preuve scientifique ne permet d'affirmer que l'eau de distribution est la seule responsable des taux d'imprégnation mesurés de cette étude. L'eau de distribution respecte aujourd'hui, partout en Wallonie, la norme de 100 ng/l pour 20 PFAS (entrée en vigueur le 20 février 2025), grâce à l'installation de filtres à charbon là où cela s'est avéré nécessaire.

Les PFAS étant des molécules de synthèse utilisées pour des applications diverses et dans de nombreux produits du quotidien, d'autres sources d'exposition que l'eau de distribution ne sont pas à négliger, telle que l'alimentation, connue pour être une source principale d'exposition aux PFAS pour la population générale. Une attention particulière doit être apportée à ces autres sources d'exposition potentielles via l'analyse des questionnaires remplis par les participants, afin de déterminer et prendre en compte l'ensemble des facteurs d'exposition et ainsi mettre en œuvre les actions les plus efficaces possibles pour réduire ou supprimer l'exposition aux PFAS de la population de la zone de Florennes.

Enfin, le Conseil Scientifique Indépendant PFAS a émis des recommandations destinées aux professionnels de la santé en cas de dépassements des valeurs seuils sanitaires (HBM I et somme PFAS NAS). Des outils d'informations sont mis à la disposition du corps médical (webinaire, documents d'information) afin de leur permettre d'assurer le suivi sanitaire le plus adéquat de leur patientèle. Cependant, il est important de souligner qu'un dépassement d'une des valeurs seuils santé n'entraînera pas obligatoirement des effets néfastes sur la santé.

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.
- Bjermo, H., Darnerud, P.O., Pearson, M., Barbieri, H.E., Lindroos, A.K., Nälsén, C., Lindh, C.H., Jönsson, B.A.G., Glynn, A., 2013. *Serum concentrations of perfluorinated alkyl acids and their associations with diet and personal characteristics among Swedish adults*. Mol. Nutr. Food Res. 57 (12), 2206–2215. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201200845>
- 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. <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_c_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. <https://www.issep.be/bmh-wal/>
- Jacques, A, Ruthy, I., Jacquemin, P., 2025, *BioMonitoring Humain Wallon BMH-Wal, Détermination des valeurs de référence pour la population wallonne phase 3 : Adultes de 40 à 59 ans*, ISSeP, RP1-RAP-24-04063, janvier 2025. <https://www.issep.be/bmh-wal/>
- 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.
- OECD. 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 résidents de la zone de Florennes.

Les estimations des moyennes géométriques, minimum, maximum ont été effectuées lorsque minimum 5 données étaient disponibles.

Les estimations des percentiles ont été effectuées lorsque minimum 10 données étaient disponibles.

8.2 Profils PFAS des résidents de la zone de Florennes selon la classe d'âge