



FICHE SCIENTIFIQUE

Les substances per- et polyfluoroalkylées (PFAS)

1. Introduction

Les substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées (PFAS) ont retenu l'attention en raison de leur persistance, de leur potentiel de bioaccumulation et de leurs effets néfastes possibles sur les organismes vivants (1). Surnommés « *produits chimiques éternels* » en raison de leur stabilité chimique innée, les substances PFAS se sont révélées être des contaminants environnementaux omniprésents, détectés depuis les confins arctiques de la planète jusqu'aux eaux de pluie urbaines (2, 3). La grande mobilité de ces molécules rend problématique la pollution des sols et des eaux souterraines sur les sites contaminés. En général, les PFAS à chaîne courte sont plus mobiles que celles à chaîne longue. Les procédés d'épuration des sols et des eaux souterraines et de traitement de l'eau potable sont souvent inefficaces et coûteux. Le recyclage des produits contenant des PFAS tels que le papier et les emballages alimentaires entraîne le transfert des contaminants. L'incinération nécessite des températures élevées pour détruire complètement les PFAS (4).

Ces substances étaient et sont encore, pour certaines d'entre elles, largement utilisées dans des applications industrielles et grand public, notamment dans les revêtements antitaches pour les tissus et les tapis, les revêtements résistants à l'huile pour le papier et le carton, les matériaux en contact avec les aliments, les mousses anti-incendie, les tensioactifs pour les mines et les puits de pétrole, les cirages pour les sols, les cosmétiques et les formulations insecticides (5, 6). Les substances per- et polyfluoroalkylées sont des composés chimiques organiques non aromatiques dans lesquels les atomes d'hydrogène ont été soit complètement (perfluorés), soit en grande partie (polyfluorés) remplacés par des atomes de fluor. (**Figure 1**). Les PFAS résistent à la biodégradation, à la photooxydation et à l'hydrolyse grâce à la force de la liaison carbone-fluor. Au fil du temps ces substances s'accumulent dans les animaux, l'environnement et finalement dans l'homme (7).

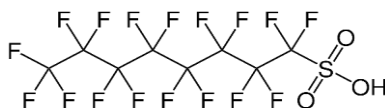


Figure 1 : Structure d'une molécule de PFAS. Ici l'acide perfluorooctane sulfonique (PFOS) est représentée.

2. Les voies d'exposition aux PFAS

Il a été démontré que le transport atmosphérique joue un rôle important dans la répartition mondiale des PFAS et, après le dépôt, la mobilité au sein des milieux terrestres diminue avec l'augmentation du poids moléculaire, tandis que la bioaccumulation augmente (3).

En 2009, deux molécules, l'acide perfluorooctane sulfonique (PFOS) et l'acide perfluorooctanoïque (PFOA), ont été inscrits sur la liste de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants (8) en raison de leur toxicité démontrée, de leur bioaccumulation, de leur persistance dans l'environnement et de leur capacité à parcourir de longues distances à partir du point de rejet ou d'application (5). De ce fait la Commission européenne a demandé à l'EFSA une évaluation scientifique des risques pour la santé humaine liés à la présence de PFOS et PFOA dans les aliments (9). Le PFOS et le PFOA sont facilement absorbés dans le tractus gastro-intestinal, excrétés dans l'urine et les selles, et ne sont pas métabolisés. Les demi-vies estimées humaines (temps d'élimination par le corps) du PFOS et du PFOA sont respectivement d'environ 5 ans et 2 à 4 ans.

Il s'en suit que les rejets de ces produits chimiques dans l'environnement doivent être éliminés ou réduits. La fabrication d'autres molécules de PFAS s'est poursuivie, avec une transition vers des PFAS à chaîne courte, ce qui a conduit à des détections plus fréquentes de ces produits chimiques dans l'environnement, dont certains semblent également persistants dans l'environnement (10). Cependant, les concentrations sériques humaines de PFOS et de PFOA ont montré une tendance à la baisse dans le monde entier depuis les années 2000 (11).

À l'échelle mondiale, de nombreuses régions continuent de découvrir des sites contaminés par les PFAS où des mousses filmogènes aqueuses ont été utilisées à des fins de lutte contre les incendies, en particulier à proximité des aéroports, des zones d'entraînement des pompiers et des bases militaires (10).

La source d'expositions aux PFAS sont multiples et incluent entre autres (7, 12, 13) :

- Certains pesticides,
- Absorption des PFAS principalement par le biais de la nourriture et de l'eau potable,
- Utilisation de produits fabriqués avec des PFAS ou emballés dans des matériaux en contact contenant des PFAS,
- Une exposition à la poussière,
- Environnement contaminé : proximité d'aéroports, de zones d'entraînement à la lutte contre les incendies, industries,
- Transfert transplacentaire et lactation.

La persistance mondiale généralisée des PFAS a entraîné des concentrations détectables de ces composés dans le sang de presque toute la population humaine (14). La présence de ces substances a même été démontrée chez les ours polaires (15). L'excrétion ne se fait que très lentement. Ils se bioaccumulent en se liant aux protéines du sang, du foie et des reins (4). Le PFOS et le PFOA sont les PFAS que l'on retrouve dans les aliments et chez l'homme aux concentrations les plus élevées (16).

3. Les effets sur la santé.

Les recherches scientifiques actuelles suggèrent que l'exposition à des niveaux élevés de certains PFAS peut entraîner des effets néfastes sur la santé. Ainsi, le PFOS, un produit chimique industriel bien étudié, interfère potentiellement avec le système endocrinien et a des effets néfastes sur la santé humaine et l'environnement (17). Cependant, des recherches sont toujours en cours pour déterminer comment différents niveaux d'exposition à différents PFAS peuvent conduire à une variété d'effets sur la santé. Les scientifiques essaient également de mieux comprendre les effets sur la santé associés à de faibles niveaux d'exposition aux PFAS sur de longues périodes, en particulier chez les enfants.

Les PFAS sont également toxiques pour les poissons et les amphibiens dans les premiers stades de leur vie ainsi que pour les invertébrés et les insectes à des faibles concentrations dans la gamme de µg/L (4).

L'exposition à certains niveaux de PFAS peut conduire à (3, 4, 10, 14, 16, 18-21) :

- Une augmentation du risque de certains cancers, y compris les cancers du sein, de la prostate, des reins et des testicules.
- Une réduction de la capacité du système immunitaire de l'organisme à combattre les infections, y compris une réponse réduite aux vaccins.
- Une augmentation du taux de cholestérol et/ou du risque d'obésité, du diabète et des maladies cardiaques.
- Des effets sur le développement neurologique chez les enfants, notamment un faible poids à la naissance ou des changements de comportement.
- Des effets sur la reproduction, comme une baisse de la fertilité ou une augmentation de l'hypertension artérielle chez les femmes enceintes.
- Une interférence avec les hormones naturelles de l'organisme.
- Des perturbations endocriniennes potentielles.

De ce fait, l'EFSA a fixé un seuil de sécurité pour les principales substances PFAS, qui s'accumulent dans l'organisme.

Dans sa première évaluation du PFOS et PFOA en 2018, l'EFSA avait établi une dose hebdomadaire tolérable de 13 ng/kg de poids corporel pour le PFOS et de 6 ng/kg de poids corporel par semaine pour le PFOA. Pour les deux composés, l'exposition d'une proportion considérable de la population dépasse les doses hebdomadaires tolérables proposées (9).

En 2020, l'EFSA a établi une dose hebdomadaire tolérable de 4,4 ng/kg de poids corporel et par semaine pour la somme de quatre PFAS, à savoir l'acide perfluorooctanoïque (PFOA), le perfluorooctane sulfonate (PFOS), l'acide perfluorononanoïque (PFNA) et l'acide perfluorohexane sulfonique (PFHxS) (16).

4. Surveillance de l'exposition aux PFAS

Le Règlement (UE) 2023/915 de la Commission du 25 avril 2023 détermine des limites maximales pour ces substances dans certains produits d'origine animale (22).

La Commission européenne recommande aux États membres d'effectuer, au cours des années 2022, 2023, 2024 et 2025, une surveillance de la présence de PFAS dans les aliments, conformément à la recommandation (UE) 2022/1431 de la Commission du 24 août 2022 relative à la surveillance des substances perfluoroalkylées dans les denrées alimentaires (23). En particulier, la surveillance doit porter sur une grande variété de denrées alimentaires reflétant les habitudes de consommation, notamment les fruits, les légumes, les racines et tubercules amylicés, les céréales, les noix, les oléagineux, les aliments pour nourrissons et enfants en bas âge, les denrées alimentaires d'origine animale, les boissons non alcoolisées, le vin et la bière, afin de permettre une estimation précise de l'exposition.

La directive 2020/2184 du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2020 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine vise à introduire de nouvelles règles pour protéger la santé humaine de la contamination des eaux destinées à la consommation humaine en garantissant leur salubrité et leur propreté. Ainsi, des limites pour les substances alkylées per- et polyfluorées dans les eaux destinées à la consommation humaine sont fixées (24).

Au Luxembourg, l'Administration luxembourgeoise vétérinaire et alimentaire (ALVA) est chargée de la réalisation de contrôles officiels dans le domaine de la qualité des denrées alimentaires et par conséquent de vérifier le respect de la législation communautaire et nationale (25).

Les données d'occurrence d'un large éventail de substances PFAS devraient être recueillies dans les produits pertinents afin de soutenir une évaluation de l'exposition alimentaire aux PFAS et par conséquent d'évaluer la nécessité de réglementer ces substances dans des produits spécifiques.

Ainsi, le contrôle porte majoritairement sur les denrées alimentaires tels que prévus par la recommandation précitée de la Commission européenne afin de permettre une estimation précise de l'exposition.

4.1. Denrées d'origine non animale

En 2022 l'ALVA a commencé à surveiller les substances PFAS dans les eaux de sources et les eaux minérales naturelles. En effet, 16 échantillons ont été analysés et aucune trace de PFAS n'a pu être mise en évidence dans les eaux analysées.

En 2023, l'ALVA a élargi le monitoring sur les aliments largement consommés afin d'évaluer l'exposition de la population aux PFAS (**Tableau 1**).

Matrice	N° d'échantillons	PFAS non détecté
Algues	5	100 %
Aliments pour bébés	5	100 %
Boissons alcoolisées	10	100 %
Boissons non-alcoolisées	21	100 %
Céréales	23	100 %
Fruits	8	100 %
Fruits à coque	5	100 %
Légumes	11	100 %
Grand Total	88	100 %

Tableau 1: Tableau récapitulatif des catégories d'aliments analysées pour les PFAS. Ce tableau regroupe les données des années de contrôle 2022 et 2023.

Tous les échantillons d'origine non animale étaient en-dessous de la limite de détection. Aucune trace de PFAS dans les échantillons analysés n'a pu être mise en évidence. Le choix des matrices portait sur la production conventionnelle, biologique, nationale, EU et pays tiers. Le Tableau 1 **Tableau 2** donne une vue globale de l'ensemble des échantillons prélevés.

Matrice	Bio				Non-bio				Total
	EU	Inconnue	LU	Pays tiers	EU	Inconnue	LU	Pays tiers	
Algues								5	5
Aliments pour bébés	1				3	1			5
Boissons alcoolisées			2		2		6		10
Boissons non-alcoolisées	1				14		6		21
Céréales	2	4		2	2	2	10	1	23
Fruits	1				6			1	8
Fruits à coque	1				2	1		1	5
Légumes			2	1	4		2	2	11
Grand Total	6	4	4	3	33	4	24	10	88

Tableau 2 : Distribution des échantillons d'origine non-animale analysées selon la méthode de production et leur origine.

4.2. Denrées d'origine animale

Les aliments d'origine animale contribuent largement à l'exposition humaine aux PFAS et l'EFSA a conclu que chez les animaux producteurs de denrées alimentaires, les PFAS sont transférés des aliments pour animaux aux aliments d'origine animale (16). De plus, les espèces de bétail et de gibier peuvent être exposées aux PFAS via de l'eau, du sol, du substrat, de l'air ou de la nourriture contaminés.

Au cours de l'année 2023, l'ALVA avait procédé à l'analyse de 21 échantillons d'origine animale (**Tableau 3**). Tous les échantillons étaient d'origine luxembourgeoise.

Un seul échantillon présentait une contamination en PFAS. Il s'agissait d'un échantillon d'un produit de chasse, plus précisément d'un pâté de marcassin. Même si cet échantillon contenait une quantité de PFAS détectable (0.083 µg/kg), l'échantillon restait conforme à la limite maximale (0.3 µg/kg) définie dans la réglementation communautaire (22).

Ce résultat n'est pas surprenant vu que des concentrations relativement élevées de PFAS ont été signalées chez le sanglier européen, le foie étant le principal site d'accumulation (26, 27). Le comportement alimentaire des sangliers, qui comprend l'enracinement dans le sol et l'accès à des décharges qui contiennent souvent des déchets municipaux, est susceptible d'influencer l'exposition (9). Sans tenir compte des points de contamination massive, un niveau d'exposition plus élevé a été démontré pour les animaux vivant à proximité de zones à forte population humaine (26).

Matrice	PFAS non détecté	PFAS détecté	N° d'échantillons
Lait	6		6
Lapin	1		1
Miel	2		2
Œufs	1		1
Produits de chasse	4	1	5
Viande bovine	2		2
Viande de lapin	1		1
Viande de poulets	2		2
Viande ovine	1		1
Viande porcine	1		1
Grand Total	20	1	21

Tableau 3: Distribution des échantillons d'origine animale analysés.

5. Les PFAS dans les pesticides

Le terme « pesticide » est couramment utilisé comme synonyme de « produit phytopharmaceutique » et regroupe au niveau réglementaire les produits phytopharmaceutiques au sens du règlement (CE) n°1107/2009 du Parlement européen et du Conseil du 21 octobre 2009 concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques (28) et les produits biocides comme défini dans le règlement n°528/2012 du Parlement et du Conseil du 22 mai 2012 concernant la mise à disposition sur le marché et l'utilisation de produits biocides (29).

Des pesticides fluorés sont apparus pour la première fois sur le marché dans les années 1930, mais ce n'est qu'au cours de la dernière décennie que leur utilisation s'est considérablement développée (30).

La grande majorité de ces substances sont persistantes dans l'environnement ou donnent naissance à des métabolites (produits de conversion) persistants comme le TFA (acide trifluoroacétique). D'autres sources de TFA sont les produits de dégradation des réfrigérants et agents gonflants halogénés (31). Le TFA est très soluble dans l'eau et s'adsorbe mal au sol, aux sédiments et à la matière organique. Ainsi, la substance est très mobile et est très rapidement introduite dans le cycle naturel de l'eau à partir de l'atmosphère, des sols et des eaux usées, et est ainsi dispersée dans l'environnement. Cela signifie qu'il existe un risque d'accumulation de ces résidus dans l'environnement en raison d'une utilisation répétée en agriculture.

Même si certains pesticides organiques fluorés sont susceptibles de se biodégrader, d'autres présentent un catabolisme microbien improductif, impliquant souvent des processus de biodégradation incomplets qui donnent des sous-produits complexes (souvent encore fluorés), dont beaucoup peuvent encore présenter un potentiel de toxicité non ciblée (32, 33). Cette stabilité, ou persistance, présente des demi-vies (le temps nécessaire aux produits chimiques pour se dissiper de moitié dans l'environnement) allant de quelques jours à 2,5 ans pour les pesticides fluorés les plus vendus. En ce qui concerne le TFA, il n'existe actuellement aucune condition environnementale connue dans laquelle le TFA se dégrade (31, 34).

L'Union Européenne a actuellement un plan ambitieux pour restreindre l'utilisation des PFAS en Europe (23, 24), mais les pesticides PFAS ont été exclus du champ d'application de cette restriction. L'argument principal est que ces substances sont déjà couvertes et suffisamment réglementées par le règlement sur les pesticides. Selon ce règlement, les pesticides autorisés dans l'UE ne devraient provoquer aucun effet nocif sur l'homme ni aucun effet inacceptable sur l'environnement (35).

Avant de pouvoir utiliser une substance active dans un produit phytopharmaceutique dans l'UE, cette substance doit préalablement être approuvée par la Commission européenne et les Etats Membres. Ces substances actives, ainsi que leurs métabolites sont soumises à un processus intensif d'évaluation avant qu'une décision ne puisse être prise concernant leur approbation.

L'autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA) est responsable des évaluations de risques associés aux substances actives utilisées dans les produits phytopharmaceutiques, en étroite coopération avec la Commission européenne et les États membres de l'UE. L'évaluation des risques a pour objectif de déterminer si ces substances actives sont susceptibles d'avoir des effets nocifs directs ou indirects sur la santé humaine ou animale. L'ingestion de ces substances via la consommation d'eau potable ou de denrées alimentaires ou aliments pour animaux sont considérés. L'évaluation du risque environnemental visant à évaluer l'impact potentiel sur des organismes non ciblés ainsi que les effets potentiels des substances actives sur la qualité des nappes phréatiques fait partie intégrante de l'évaluation des risques.

L'EFSA fournit des avis scientifiques à la Commission européenne :

- Sur les risques éventuels liés à la présence de résidus de pesticides dans les aliments traités avec des produits phytopharmaceutiques et délivre des conseils en ce qui concerne l'établissement des limites maximales de résidus,
- Sur l'examen des LMR existantes.

Ces avis sont pris en compte la toxicité de chaque substance, les limites maximales attendues dans les aliments et les régimes alimentaires des consommateurs. Sur la base de l'opinion de l'EFSA, la Commission publie un règlement pour établir une nouvelle LMR ou modifier ou supprimer une LMR existante.

Les LMR, qui sont fixées par la Commission européenne ensembles avec les Etats Membres, comprennent :

- Les LMR spécifiques à certains produits destinés à la consommation humaine ou animale,
- Une LMR générale qui s'applique lorsqu'aucune LMR spécifique n'a été définie (une « limite par défaut » de 0,01 mg/kg).

Une substance active ne peut être approuvée que si elle répond aux critères d'approbation des substances actives comme défini dans le règlement (CE) n°1107/2009 du Parlement européen et du Conseil du 21 octobre 2009 concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques. Il faut qu'il soit démontré que la substance et ses résidus (liste non exhaustive) :

- N'ont pas d'effets nocifs immédiats ou différés sur la santé humaine ou animale, directement ou par le biais de l'eau potable, des denrées alimentaires, des aliments pour animaux ou de l'air, ou par une exposition sur le lieu de travail ou par des effets cumulatifs et synergiques (lorsque les méthodes scientifiques permettant d'évaluer ces effets sont disponibles).

- N'ont pas d'effets inacceptables sur l'environnement, notamment sur les espèces non ciblées et la biodiversité.

En cas d'utilisation conforme, aucun effet néfaste sur la santé n'est à prévoir. Même si les produits phytopharmaceutiques sont utilisés correctement, il peut arriver que des résidus soient détectés dans les cultures récoltées et dans les aliments qui en sont issus. Ceci est prévisible et est donc explicitement pris en compte dans l'évaluation du processus et de la sécurité de ces produits en fixant des limites maximales pour la molécule active et ses métabolites. La simple détection d'un résidu ne permet donc pas de tirer des conclusions sur son risque – une évaluation de risque doit être effectuée au cas par cas si la LMR est dépassée pour déterminer si des résidus d'une substance active posent un risque pour la santé humaine (36).

L'ALVA surveille depuis longtemps les résidus de pesticides dans différentes catégories d'aliments et évalue leur conformité par rapport aux limites réglementaires fixées. Depuis 2011, l'ALVA a procédé à l'analyse de 2656 échantillons dont 624 (23.5 %) présentaient des résidus de pesticides fluorés pouvant être classés comme appartenant à la famille des pesticides PFAS basé sur la liste de l'ECHA (37). Ces résidus font partie des contrôles de routine. Le **Tableau 4** résume les résultats pour les pesticides fluorés recherchés sur diverses matrices.

En analysant les données du **Tableau 4**, on remarque que 12 échantillons, soit 0.45 % de tous les échantillons analysés, présentaient des concentrations en résidus de pesticides dépassant les limites réglementaires autorisées. En ce qui concerne les résidus de pesticides fluorés, 16 échantillons étaient conformes en tenant en compte de l'erreur analytique et 6 échantillons étaient conformes en respectant le facteur de process (38). Il s'agit ici principalement d'échantillons soumis à un processus de séchage résultant dans une concentration plus élevée de résidus. Dans ces cas, les limites doivent être adaptées en accord avec l'article 20 du règlement (CE) n° 396/2005 (35).

Matrice	Conformes	Conforme avec erreur analytique	Conforme avec facteur de process	> Limite autorisée	N° d'échantillons
Boissons alcoolisées	4				4
Café Thé	78	4		2	78
Complément alimentaire	1				1
Epices	24	2	1	2	26
Farine	2		2		4
Fruits	313	4		1	316
Fruits à coque	2				2
Fruits rouges	2				2
Fruits secs	10			2	12
Herbes aromatiques	18	1	3	1	23
Houblon	1				1
Huiles et graisses	16				16
Légumes	104	3		4	111
Œufs		1			1
Salades	27	1			27
Grand Total	602	16	6	12	624

Tableau 4 : Conformité des pesticides PFAS détectés au cours de la période 2011 – 2023.

Les échantillons conformes étaient soit en dessous de la limite de détection ou conformes par rapport à la limite maximale autorisée pour cette matrice. Les limites applicables sont publiques et peuvent être consultées dans la base de données de l'Union Européenne sur les pesticides (39). Cette base permet entre-autres aux utilisateurs de rechercher des informations sur les substances actives utilisées dans les produits phytopharmaceutiques et les teneurs maximales en résidus (LMR) dans les produits alimentaires.

Les détails des échantillons non-conformes sont listés dans le **Tableau 5**. L'origine des matrices, le nom des résidus détectés, l'année de contrôle, la valeur détectée ainsi que la limite applicable lors du contrôle est indiquée.

Matrice	N° échantillon	Val. Détectée (µg/kg)	Limite applicable (µg/kg)	Origine	Année de contrôle
Café Thé	2				
Thé	2			Taiwan	
Lambda-cyhalothrin		0,064	0.01		2023
Tetraconazole		0,087	0.02		2015
Fruits	1				
Goyave	1			Brésil	
Bifenthrin		0,05	0.01		2020
Fruits secs	2				
Baies de Goji	1			Chine	
Sulfoxaflor		1,30	0.30		2018
Fruits secs mélangés	1			USA	
Sulfoxaflor		0,05	0.01		2018
Herbes aromatiques					
Thym	1			Luxembourg	
Lambda-cyhalothrin		3,60	1		2017
Thym	1			Inconnue	
Tetraconazole		0,66	0.02		2012
Légumes	4				
Céleri	1			Italie	
Lambda-cyhalothrin		0,55	0.20		2022
Tomates	2			Italie	
Chlorfenapyr		0.14	0.01		2019
Chlorfenapyr		0.045	0.01		2022
Pomme de Terre	1			Pays-Bas	
Fluazinam		0,65	0.02		2011
Poivron	1			Morocco	
Tetraconazole		0,21	0.10		2021
Total	12				

Tableau 5 : Récapitulatif des échantillons non-conformes dépassant les limites réglementaires durant la campagne de contrôle 2011 – 2023.

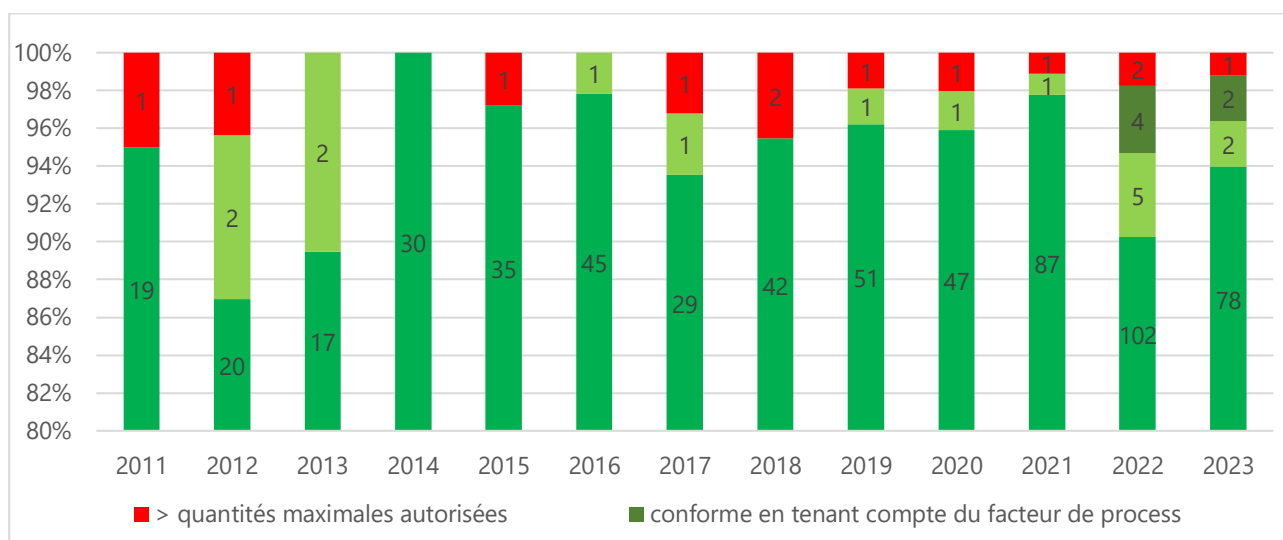
Pour tous les échantillons dépassant la LMR, des actions correctives ont été prises en fonction de l'évaluation de risque.

Pour l'échantillon de thym frais d'origine luxembourgeoise, l'analyse de risque de a conclu qu'il ne présentait pas de risque pour la santé. Une dose de référence aiguë pour les enfants de 27.2 % selon le modèle PRIMO (40) a été calculée. L'échantillon de thym a été retiré de la vente sur base de cette approche et le producteur a été appelé à vérifier la conformité de ses autres récoltes.

La dose de référence aiguë (« *acute reference dose* » - ARfD) définit la quantité maximale de résidu d'une substance active qui peut être ingérée par un consommateur pendant une courte période, sans qu'un risque pour sa santé ne puisse être observé. En d'autres termes, jusqu'à cette concentration, il n'y a pas de risque en cas de consommation unique ou sur une courte période. Le seuil est donc défini selon une approche protectrice de la santé.

La limite maximale en résidus (LMR), toujours inférieure à la ARfD, définit la quantité maximale autorisée légalement d'un résidu de pesticide dans ou sur les denrées alimentaires ou les aliments pour animaux, sur la base des bonnes pratiques agricoles et de l'exposition minimale des consommateurs, nécessaire pour protéger les consommateurs vulnérables. La LMR définit donc la concentration maximale en résidus admise sans risque pour la santé même si cette quantité est consommée quotidiennement tout au long de la vie sans que cela n'ait d'effets indésirables sur la santé. Le dépassement de la limite maximale ne conduit donc pas nécessairement à l'apparition d'effets dangereux sur la santé.

On remarque une augmentation des produits dépassant les limites règlementaires pour les pesticides PFAS depuis les dernières années (**Graphique 1**). Ceci peut être lié à une utilisation accrue de ces produits, mais également aux méthodes analytiques de plus en plus performantes permettant de détecter des concentrations de résidus de plus en plus faibles. Quoi qu'il en soit, les matrices dépassant les limites règlementaires ont été retirées, voire en cas de risque pour la santé humaine, retirées du marché et rappelées auprès du consommateur.



Graphique 1: Conformité des pesticides PFAS détectés au cours de la période 2011 – 2023.

6. Prévisions

Comme les substances PFAS sont nocives pour l'environnement et la santé humaine (9, 16), l'ALVA va poursuivre et intensifier la surveillance au cours de l'année de contrôle 2024 et prévoit d'analyser 140 échantillons (**Tableau 6**).

La catégorie « viande » inclut du jambon cru et cuit, de la viande bovine, ovine, porcine, de lapin, poulet ainsi que des œufs de poule et des produits élaborés de la chasse.

Matrices	N° d'échantillons prévus
Boisson non alcoolique	15
Céréales déjeuner	5
Céréales grains	10
Eau minérale naturelle	15
Farine	5
Fruits à coque : arachides	5
Fruits et légumes	10
Lait	6
Miel	14
Œufs	2
Pommes de terre	5
Poudre de lait	5
Viande	43
Grand Total	140

Tableau 6 : Nature et nombre d'échantillons prévus pour les analyses PFAS pour l'année de contrôle 2024.

7. Conclusions

En raison de l'extrême persistance de ces substances PFAS, les impacts sur l'environnement et la santé humaine devraient augmenter si leur pénétration dans l'environnement se poursuit. L'EFSA a établi une dose tolérable de 4,4 nanogrammes par kilogramme de poids corporel et par semaine pour la somme de quatre PFAS, à savoir l'acide perfluorooctanoïque (PFOA), le perfluorooctane sulfonate (PFOS), l'acide perfluorononanoïque (PFNA) et l'acide perfluorohexane sulfonique (PFHxS).

Depuis 2022, l'ALVA surveille la présence des substances poly et perfluoroalkylées dans l'eau et les denrées alimentaires d'origine animale et non-animale. Jusqu'à présent, un échantillon de pâté de marcassin présentait des traces de PFAS mais était conforme par rapport à la limite maximale réglementaire.

Durant la période de surveillance 2011 – 2023, un total de 2656 échantillons ont été analysés pour des résidus de pesticides appartenant à la famille des PFAS. 12 échantillons présentaient des concentrations en résidus de pesticides dépassant les limites réglementaires autorisées. Ces échantillons ont été retirés, voire en cas de risque pour la santé humaine, rappelés du marché.

Rappelons que la simple détection d'un principe actif provenant d'un produit phytopharmaceutique ne permet pas de tirer des conclusions sur son risque. Afin de déterminer l'existence d'un risque pour la santé, une évaluation au cas par cas est nécessaire.

En 2024, l'ALVA va poursuivre, voire intensifier les analyses à la recherche des molécules PFAS.

Le monitoring de ces substances permet à long terme une gestion, basée sur les risques, de l'exposition aux PFAS chez les humains, le bétail et le gibier.

8. Références

1. L. Ahrens, M. Bundschuh, Fate and effects of poly- and perfluoroalkyl substances in the aquatic environment: a review. *Environ Toxicol Chem* **33**, (9), 1921-1929 (2014).
2. M. Shoeib, T. Harner, P. Vlahos, Perfluorinated Chemicals in the Arctic Atmosphere. *Environmental Science & Technology* **40**, (24), 7577-7583 (2006).
3. M. G. Evich *et al.*, Per- and polyfluoroalkyl substances in the environment. *Science* **375**, (6580), eabg9065 (2022).
4. H. Brunn, G. Arnold, W. Körner, G. Rippen, K. G. Steinhäuser, I. Valentin, PFAS: forever chemicals—persistent, bioaccumulative and mobile. Reviewing the status and the need for their phase out and remediation of contaminated sites. *Environmental Sciences Europe* **35**, (1), (2023).
5. F. Xiao, Emerging poly- and perfluoroalkyl substances in the aquatic environment: A review of current literature. *Water Res* **124**, 482-495 (2017).
6. L. G. T. Gaines, Historical and current usage of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS): A literature review. *Am J Ind Med* **66**, (5), 353-378 (2023).
7. M. W. Sima, P. R. Jaffé, A critical review of modeling Poly- and Perfluoroalkyl Substances (PFAS) in the soil-water environment. *Sci Total Environ* **757**, 143793 (2021).
8. Stockholm Convention. All POPs listed in the Stockholm Convention, <https://chm.pops.int/TheConvention/ThePOPs/AllPOPs/tabid/2509/Default.aspx>. February 2024
9. Efsa Panel on Contaminants in the Food Chain *et al.*, Risk to human health related to the presence of perfluorooctane sulfonic acid and perfluorooctanoic acid in food. *EFSA J* **16**, (12), e05194 (2018).
10. E. M. Sunderland, X. C. Hu, C. Dassuncao, A. K. Tokranov, C. C. Wagner, J. G. Allen, A review of the pathways of human exposure to poly- and perfluoroalkyl substances (PFASs) and present understanding of health effects. *J Expo Sci Environ Epidemiol* **29**, (2), 131-147 (2019).
11. K. Kato, X. Ye, A. M. Calafat, "PFASs in the General Population" in Toxicological Effects of Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances, J. C. DeWitt, Ed. (Springer International Publishing, Cham, 2015), 10.1007/978-3-319-15518-0_3, pp. 51-76.
12. C. Death, C. Bell, D. Champness, C. Milne, S. Reichman, T. Hagen, Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in livestock and game species: A review. *Sci Total Environ* **774**, 144795 (2021).
13. A. Ramírez Carnero, A. Lestido-Cardama, P. Vazquez Loureiro, L. Barbosa-Pereira, A. Rodríguez Bernaldo de Quirós, R. Sendón, Presence of Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Food Contact Materials (FCM) and Its Migration to Food. *Foods* **10**, (7), (2021).
14. S. E. Fenton *et al.*, Per- and Polyfluoroalkyl Substance Toxicity and Human Health Review: Current State of Knowledge and Strategies for Informing Future Research. *Environ Toxicol Chem* **40**, (3), 606-630 (2021).
15. K. E. Pedersen, R. J. Letcher, C. Sonne, R. Dietz, B. Styris, Per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) - New endocrine disruptors in polar bears (*Ursus maritimus*)? *Environ Int* **96**, 180-189 (2016).
16. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain *et al.*, Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. *EFSA Journal* **18**, (9), e06223 (2020).
17. M. Pípal, L. Wiklund, S. Caccia, A. Beronius, Assessment of endocrine disruptive properties of PFOS: EFSA/ECHA guidance case study utilising AOP networks and alternative methods. *EFSA Journal* **20**, (S1), e200418 (2022).

18. C. C. Bach, A. Vested, K. T. Jørgensen, J. P. E. Bonde, T. B. Henriksen, G. Toft, Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances and measures of human fertility: a systematic review. *Critical Reviews in Toxicology* **46**, (9), 735-755 (2016).
19. A. O. De Silva *et al.*, PFAS Exposure Pathways for Humans and Wildlife: A Synthesis of Current Knowledge and Key Gaps in Understanding. *Environ Toxicol Chem* **40**, (3), 631-657 (2021).
20. M. Bonato, F. Corra, M. Bellio, L. Guidolin, L. Tallandini, P. Irato, G. Santovito, PFAS Environmental Pollution and Antioxidant Responses: An Overview of the Impact on Human Field. *Int J Environ Res Public Health* **17**, (21), (2020).
21. T. Colnot, W. Dekant, Commentary: cumulative risk assessment of perfluoroalkyl carboxylic acids and perfluoroalkyl sulfonic acids: what is the scientific support for deriving tolerable exposures by assembling 27 PFAS into 1 common assessment group? *Arch Toxicol* **96**, (11), 3127-3139 (2022).
22. Commission Européenne, Règlement (UE) 2023/915 de la Commission du 25 avril 2023 concernant les teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires et abrogeant le règlement (CE) no 1881/2006, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX%3A32023R0915&qid=1685451514834>
23. Commission Européenne, Recommandation (UE) 2022/1431 de la Commission du 24 août 2022 relative à la surveillance des substances perfluoroalkylées dans les denrées alimentaires, <http://data.europa.eu/eli/reco/2022/1431/oj>
24. Parlement Européen et le Conseil de l'Union Européenne, Directive (UE) 2020/2184 du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2020 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine, <http://data.europa.eu/eli/dir/2020/2184/oj>
25. LEGILUX, Loi du 8 septembre 2022 portant création et organisation de l'Administration luxembourgeoise vétérinaire et alimentaire et portant modification: 1°de la loi modifiée du 21 novembre 1980 portant organisation de la Direction de la santé; 2°de la loi modifiée du 19 mai 1983 portant réglementation de la fabrication et du commerce des aliments des animaux; 3°de la loi du 28 juillet 2018 instaurant un système de contrôle et de sanctions relatif aux denrées alimentaires., <https://legilux.public.lu/eli/etat/leg/loi/2022/09/08/a502/jo>
26. J. Kowalczyk *et al.*, Suitability of Wild Boar (*Sus scrofa*) as a Bioindicator for Environmental Pollution with Perfluorooctanoic Acid (PFOA) and Perfluorooctanesulfonic Acid (PFOS). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* **75**, (4), 594-606 (2018).
27. C. Lau, "Perfluorinated Compounds: An Overview" in *Toxicological Effects of Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances*, J. C. DeWitt, Ed. (Springer International Publishing, Cham, 2015), 10.1007/978-3-319-15518-0_1, pp. 1-21.
28. Parlement Européen et le Conseil, Règlement (CE) no 1107/2009 du Parlement européen et du Conseil du 21 octobre 2009 concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques et abrogeant les directives 79/117/CEE et 91/414/CEE du Conseil, <http://data.europa.eu/eli/reg/2009/1107/2022-11-21>
29. Parlement Européen et le Conseil, Règlement (UE) no 528/2012 du Parlement européen et du Conseil du 22 mai 2012 concernant la mise à disposition sur le marché et l'utilisation des produits biocides, <http://data.europa.eu/eli/reg/2012/528/2022-04-15>
30. D. A. M. Alexandrino, C. M. R. Almeida, A. P. Mucha, M. F. Carvalho, Revisiting pesticide pollution: The case of fluorinated pesticides. *Environ Pollut* **292**, (Pt A), 118315 (2022).
31. Umwelt Bundesamt, *Reducing the input of chemicals into waters: trifluoroacetate (TFA) as a persistent and mobile substance with many sources*, 2021.
32. C. Ji *et al.*, The potential endocrine disruption of pesticide transformation products (TPs): The blind spot of pesticide risk assessment. *Environ Int* **137**, 105490 (2020).

33. R. Lava *et al.*, Groundwater contamination by fluorinated aromatics: Benzotrifluoride and its derivatives. *Chemosphere* **265**, 129029 (2021).
34. J. C. Boutonnet *et al.*, Environmental Risk Assessment of Trifluoroacetic Acid. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal* **5**, (1), 59-124 (1999).
35. Parlement Européen et le Conseil de l'Union Européenne, Règlement (CE) N° 396/2005 du Parlement européen et du Conseil du 23 février 2005 concernant les limites maximales applicables aux résidus de pesticides présents dans ou sur les denrées alimentaires et les aliments pour animaux d'origine végétale et animale et modifiant la directive 91/414/CEE du Conseil, <http://data.europa.eu/eli/reg/2005/396/oj>
36. Bundesinstitut für Risikobewertung. Rückstände von Pflanzenschutzmitteln mit PFAS Wirkstoffen in Obst und Gemüse: Besteht ein gesundheitliches Risiko? Mitteilung 012/2024. (2024).
37. European Chemicals Agency, *Annex to the Annex XV Restriction Report - Per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs)*, 2023.
38. R. Scholz *et al.*, Database of processing techniques and processing factors compatible with the EFSA food classification and description system FoodEx 2. *EFSA Supporting Publications* **15**, (11), (2018).
39. Commission Européenne. EU Pesticides Database, https://food.ec.europa.eu/plants/pesticides/eu-pesticides-database_en?etransnolive=1.
40. European Food Safety Authority (EFSA) *et al.*, Pesticide Residue Intake Model- EFSA PRIMo revision 3.1. *EFSA Supporting Publications* **16**, (3), (2019).