



Les PFAS, les dioxines et les HAP dans les filtres à air d'écoles primaires - Ivry-sur-Seine, 2024 - 2025

Rapport

Merci à Zero Waste Europe d'avoir soutenu cette étude ToxicoWatch



Remerciements particuliers :

Au Collectif 3R (Réduire, Réutiliser, Recycler) pour son soutien et son aide dans la collecte d'échantillons de filtres dans les écoles primaires,



Aux maires d'Ivry-sur-Seine et Charenton-le-Pont d'avoir permis de prendre les échantillons des filtres à air dans les écoles,

Aux écoles primaires participantes d'Ivry-sur-Seine et Charenton-le-Pont, pour leur implication dans cette étude.

AUTEURS : A. ARKENBOUT Responsable de la Recherche ToxicoWatch
 K.J.A.M. BOUMAN Recherche ToxicoWatch

Harlingen, Pays-Bas, Fondation ToxicoWatch, septembre 2025
Numéro d'édition : 2025-TWS-PA-SF-01_vs-01

Avertissement :

ToxicoWatch (TW) décline toute responsabilité envers des tiers pour toute perte ou tout dommage résultant de l'interprétation ou de l'utilisation des informations contenues dans le présent rapport, ou de la confiance accordée aux opinions qui y sont exprimées.

Copyright © 2025 TOXICOWATCH

Cette publication contient des documents rédigés et produits à des fins de diffusion publique. La copie ou la diffusion de tout ou partie de ces documents est autorisée, à condition que les copies ne soient pas réalisées ou distribuées à des fins commerciales et qu'elles mentionnent le titre, l'auteur et la Fondation ToxicoWatch.

Sauf indication contraire, les schémas, graphiques et tableaux ont tous été conçus par ToxicoWatch.

Les photographies ont été prises par l'équipe de ToxicoWatch et les membres du Collectif 3R (Réduire, Réutiliser, Recycler).

www.toxicowatch.org

Acronymes

Abréviation en anglais	Signification en anglais	Signification en français	Abréviation en français
B[a]P	Benzo[a]Pyrene, one of the most toxic Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH)	Benzo[a]pyrène, l'un des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) les plus toxiques	B[a]P
BAT	Best Available Techniques	Meilleures techniques disponibles	MTD
BEQ	Bioanalytical EQuivalents	Équivalents bioanalytiques	
BEP	Best Environmental Practices	Meilleures pratiques environnementales	MPE
BREF	BAT (Best Available Techniques, BAT) REference Documents, developed for the monitoring of emissions to air and water from installations under the Industrial Emissions Directive (IED)	BAT (Best Available Techniques, BAT) REference Documents, c'est-à-dire des documents de référence sur les meilleures techniques disponibles (BAT), élaborés pour la surveillance des émissions dans l'air et dans l'eau provenant d'installations relevant de la directive sur les émissions industrielles (IED)	MTD
dl-PCB	Dioxin-Like Polychlorinated Biphenyl	PCB « dioxin-like » (PolyChloroBiphényles)	dl-PCB
dm	Dry matter or ds = Dry Substance	Matière sèche ou ds = Substance sèche	dm ou ds
DR CALUX®	Dioxin Responsive Chemical-Activated LUciferase gene eXpression®	Test d'activité biologique des dioxines	DR CALUX®
EFSA	European Food and Safety Authority	Autorité Européenne de Sécurité des Aliments (EFSA)	EFSA
GC-MS	Gas Chromatography Mass Spectrometry	Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse	GC-MS
HEPA	High Efficiency Particulate Air, a certification standard for the performance of air filters	High Efficiency Particulate Air, ou Haute efficacité contre les particules, norme de certification pour la performance des filtres à air	HEPA
HM	Heavy metals	Métaux lourds	ML
HVAC	Heating, Ventilation and Air Conditioning equipment	Équipements de chauffage, ventilation et climatisation	CVC
IED	Industrial Emissions Directive (Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions), to control and reduce the impact of industrial emissions on the environment.	Directive relative aux émissions industrielles (directive 2010/75/UE du Parlement européen et du Conseil du 24 novembre 2010 relative aux émissions industrielles), visant à contrôler et réduire l'impact des émissions industrielles sur l'environnement.	IED
LB	Lower Bound (lb)	Limite inférieure (lb)	lb

LC-MS/MS	Liquid Chromatography Mass Spectrometry Mass Spectrometry	Chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse	LC-MS
LOD	Limit of Detection	Limite de détection	LOD
LOQ	Limit of Quantification	Limite de quantification	LOQ
MB	Medium Bound (mb)	Limite moyenne (mb)	mb
MSWI	Municipal Solid Waste Incineration	<i>Incinérateurs de déchets solides municipaux (MSWI)</i>	MSWI
ndl-PCB	Non-Dioxin-Like Polychlorinated Biphenyl	PCB non apparentés aux dioxines	ndl-PCB
t	Ton (metric) : 1.000.000 gram (10 ⁶)	Tonne (métrique) : 1 000 000 grammes (10 ⁶)	t
kg	Kilo gram : 1.000 gram (10 ³)	Kilogramme : 1 000 grammes (10 ³)	kg
g	Gram : 1 gram	Gramme : 1 gramme	g
mg	Milligram : 0.001 gram (10 ⁻³)	Milligramme : 0,001 gramme (10 ⁻³)	mg
µg	Microgram : 0.000 001 gram (10 ⁻⁶)	Microgramme : 0,000 001 gramme (10 ⁻⁶)	µg
ng	Nanogram : 0.000 000 001 gram (10 ⁻⁹)	Nanogramme : 0,000 000 001 gramme (10 ⁻⁹)	ng
pg	Picogram : 0.000 000 000 001 gram (10 ⁻¹²)	Picogramme : 0,000 000 000 001 gramme (10 ⁻¹²)	pg
OTNOC	Other Than Normal Operating Conditions of waste incineration production process	Conditions sortant des conditions normales de fonctionnement	
PAH	Polycyclic Aromatic Hydrocarbons	Hydrocarbures aromatiques polycycliques	HAP
PAH CALUX®	Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Chemical-Activated LUCiferase gene eXpression®	(Expression de la gène LUCiferase activée chimiquement par les hydrocarbures aromatiques polycycliques ou HAP)	PAH CALUX®
PCB	Polychlorinated Biphenyl	Polychlorobiphényles	PCB
PCDD	Polychlorinated Dibenzodioxins	Dibenzodioxines polychlorée	PCDD
PCDF	Polychlorinated Dibenzofurans	Dibenzofuranes polychlorés	PCDF
PBDD/F	Polybrominated-dibenzodioxins and furans	Polybromodibenzodioxines et polybromofuranes	PBDD/F
PFAS	Per- and polyFluoroAlkyl Substances	Substances per- et polyfluoroalkylées	PFAS
PFAS CALUX®	Per- and polyFluoroAlkyl Substances Chemical-Activated LUCiferase gene eXpression®	Expression génique de la luciférase activée chimiquement pour les substances per- et polyfluoroalkylées	PFAS CALUX®
POP	Persistent Organic Pollutants	Polluants organiques persistants	POP
REP	Relative Potency Factor, for the assessment of i.e. B4 :C18 direct oral external exposure to PFAS	Facteur de puissance relative, pour l'évaluation, par exemple, de l'exposition externe orale directe B4 :C18 aux PFAS	FP
SVHC	Substances of Very High Concern	Substances extrêmement préoccupantes	SVHC
TCDD	2,3,7,8-tetrachloordibenzo-p-dioxine	2,3,7,8-TétraChloroDibenzo-p-Dioxine	TCDD
TDI	Tolerable Daily Intake	Dose Journalière Admissible	DJA
TEF	Toxic Equivalency Factor	Facteur d'Équivalence Toxique	FET
TEQ	Toxic Equivalents	Équivalents toxiques	TEQ
TW	ToxicoWatch	ToxicoWatch	TW
TWI	Tolerable Weekly Intake	Dose Hebdomadaire Admissible	DHA

UB	Upper Bound (ub)	Limite supérieure (ub)	ub
UFP	Ultrafine particles, (UFP, particular matter - PM0.1)	Particules ultrafines (UFP, particules - PM0,1)	UFP
ULPA	Ultra Low Particulate Air	Particules ultrafines dans l'air	ULPA
UPOP	Unintentional POP (Persistent Organic Pollutants)	POP (polluants organiques persistants) non intentionnels	POP
ww	Wet weight or fresh weight	Poids humide ou poids frais	ww
WID	Waste Incineration Directive (Directive 2000/76/EC of the European Parliament and of the Council of 4 December 2000 on the incineration of waste (OJ L332, P91 – 111), developed to reflect the ability of modern incineration plants to achieve high standards of emission control more effectively. The WID/Directive has been replaced by the IED since January 7th, 2014.	Directive sur l'incinération des déchets (directive 2000/76/CE du Parlement européen et du Conseil du 4 décembre 2000 sur l'incinération des déchets (JO L332, p. 91-111), élaborée afin de refléter la capacité des installations d'incinération modernes à atteindre plus efficacement des normes élevées en matière de contrôle des émissions. La directive WID a été remplacée par la directive IED depuis le 7 janvier 2014	WID
WtE	Waste to Energy (waste incinerator)	Valorisation énergétique des déchets (incinérateur de déchets)	WtE

Table des matières

ACRONYMES	3
TABLE DES MATIERES	6
1. RESUME	7
2. INTRODUCTION	9
2.1. HISTORIQUE DES ETUDES DE BIOSURVEILLANCE TW A IVRY-SUR-SEINE	9
2.1.1. <i>Première étude de biosurveillance TW sur les dioxines dans les œufs de poules issues de poulaillers urbains (2021)</i>	9
2.1.2. <i>Deuxième étude TW sur les données techniques relatives aux émissions de l'IPXIII (2022-2023)</i> 9	9
2.1.3. <i>Troisième étude de biosurveillance TW sur les POP dans les sols et dans la végétation (2024)</i> 9	9
2.1.4. <i>Quatrième étude de biosurveillance TW sur les POP dans les filtres à air d'écoles primaires (2024-2025)</i>	10
2.2. L'INCINERATION DES DECHETS A IVRY-PARIS XIII (IPXIII).....	11
2.3. L'ETUDE TW SUR LES POP DANS LES FILTRES A AIR D'ECOLES PRIMAIRES A IVRY-SUR-SEINE.....	11
3. L'ÉCHANTILLONNAGE	12
3.1. L'ÉCHANTILLONNAGE DU MATERIAU DES FILTRES A AIR D'ECOLES A IVRY-SUR-SEINE	12
3.2. LES ECOLES PRIMAIRES PARTICIPANTES A L'ÉTUDE SUR LES FILTRES A AIR, OCTOBRE 2024.....	15
3.2.1. <i>Les échantillons de filtres à air - École primaire 1 : Guy Môquet</i>	15
3.2.2. <i>Les échantillons de filtres à air - École primaire 2 : Dulcie September</i>	16
3.2.3. <i>Les échantillons de filtres à air - École primaire 3 : L'Orme au Chat</i>	17
3.2.4. <i>Les échantillons de filtres à air - École primaire 4 : Anne Sylvestre</i>	18
3.2.5. <i>Les échantillons de filtres à air - École primaire 5 : Robert Desnos</i>	19
3.3. L'ÉCHANTILLONNAGE DE POUSSIERE INTERIEURE - DOMICILE PRIVE, IVRY-SUR-SEINE	20
4. METHODES D'ANALYSE	21
4.1. LES DIOXINES - METHODE D'ANALYSE PAR ESSAI BIOLOGIQUE DR CALUX	21
4.2. HAP - METHODE D'ANALYSE PAR ESSAI BIOLOGIQUE PAH CALUX	23
4.3. PFAS - METHODE D'ANALYSE PAR ESSAI BIOLOGIQUE PFAS CALUX.....	24
4.4. LES METAUX LOURDS [14].....	25
5. LES RESULTATS	26
5.1. L'ANALYSE DES RESULTATS DES FILTRES A AIR SCOLAIRES POUR LES DIOXINES, LES DL-PCB, LES HAP ET LES PFAS	26
5.2. NOTES DE LABORATOIRE SUR LES ECOLES 2, 3 ET 5	28
5.3. LES RESULTATS EN MATIERE DE DIOXINES	29
5.4. LES RESULTATS EN MATIERE DE HAP	31
5.5. LES RESULTATS EN MATIERE DE PFAS	32
5.6. LES RESULTATS CONCERNANT LA POUSSIERE INTERIEURE	35
5.6. LES RESULTATS EN MATIERE DE METAUX LOURDS.....	36
6. LE MATERIAU FILTRANT ET LES CVC	37
7. QUESTIONS	38
8. CONCLUSION	39
REFERENCES :	42
TABLE DES FIGURES :	43
ANNEXE 1 :	44
REGLEMENTATION RELATIVE A LA FILTRATION DE L'AIR.....	44
ANNEXE 2 : RESULTATS DE LABORATOIRE	45

1. Résumé

Des rapports et études antérieurs réalisés en Europe à l'aide de diverses biomatrices par ToxicoWatch (TW) ont permis de démontrer la présence de dioxines, de PFAS, de HAP et de métaux lourds à proximité immédiate des usines d'incinération des déchets.

La présente étude TW vérifie la présence de POP dans les filtres à air extérieur de cinq (5) écoles primaires situées à moins de 1 500 mètres de l'incinérateur de déchets Ivry-Paris XIII à Ivry-sur-Seine, au sud-est de Paris. Cette étude s'appuie sur et prolonge les recherches antérieures menées par TW autour de l'usine d'incinération IPXIII entre 2021 et 2024, dans le but d'améliorer la compréhension de la contamination par les POP dans l'environnement de cet incinérateur à déchets.

Les résultats sont les suivants :

- Pour les dioxines dans les poussières des filtres (PCDD/F) : 1,9 – 200,0 pg TEQ /g de poids sec.
- Pour les dl-PCB : 1,4 – 29,00 pg TEQ/g.
- Pour les HAP dans les filtres de l'école Anne Sylvestre : 100 000 pg équivalent benzo[a]pyrène par gramme.
- Pour les PFAS dans la poussière des filtres de l'école Anne Sylvestre : 156 µg PFOA eq. /g par gramme de poids sec.
- Pour la poussière intérieure : Dioxines : 26,40 pg TEQ/g ; PFAS : 40,0 µg équivalent PFOA/g de poids sec.

Il s'agit de l'une des premières études portant sur les POP dans les matériaux des filtres à air d'écoles primaires qui s'appuient sur des essais biologiques. Ces résultats soulèvent des questions importantes qui nécessitent des investigations supplémentaires pour interpréter pleinement les résultats et tirer des conclusions solides.

L'efficacité de l'élimination des polluants organiques persistants reste une question ouverte. Cette étude soulève notamment des questions quant à l'efficacité des filtres à air et plus spécifiquement l'efficacité des filtres pour éliminer les substances per- et polyfluoroalkylées (PFAS) lorsqu'elles sont présentes dans les particules ultrafines. De plus, quelle est l'efficacité des filtres pour capturer les POP gazeux lorsqu'aucun charbon actif n'est utilisé ?

La présente étude démontre clairement la présence de POP dans l'environnement. Il est donc évident que la contamination n'est pas simplement « un problème d'œufs ». Il est essentiel que ces substances soient efficacement piégées par les systèmes de filtration de l'air. Pour évaluer l'efficacité des filtres, des mesures des polluants organiques persistants doivent également être effectuées à l'intérieur des salles de classe. C'est la méthode la plus efficace pour déterminer si ces polluants sont correctement éliminés du système de ventilation et, en fin de compte, si la santé des enfants est préservée.

2. Introduction

2.1. Historique des études de biosurveillance TW à Ivry-sur-Seine

2.1.1. Première étude de biosurveillance TW sur les dioxines dans les œufs de poules issues de poulaillers urbains (2021)

Suite à la demande du groupe citoyen local Collectif 3R, qui avait exprimé sa grande inquiétude à propos des émissions de POP provenant de l'incinérateur de déchets Ivry-Paris XIII (IPXIII) situé dans leur quartier, TW a lancé en 2021 une étude sur la biosurveillance dans l'environnement immédiat de l'IPXIII. Cette étude pilote de biosurveillance, menée près d'une ville capitale comme Paris, s'est concentrée sur les œufs de poules issues de poulaillers autour de l'IPXIII. Les résultats de l'analyse des dioxines dans la plupart des poulaillers étaient alarmants et ont suscité une vive inquiétude parmi les habitants de la région parisienne.

2.1.2. Deuxième étude TW sur les données techniques relatives aux émissions de l'IPXIII (2022-2023)

Une deuxième étude a été menée par TW avec le soutien du Collectif 3R en 2023. Il s'agissait d'une étude technique qui analysait les données brutes issues de la surveillance semi-continue des dioxines dans les cheminées de l'incinérateur de déchets IPXIII sur deux années (2020 et 2021). L'étude TW a révélé qu'au cours de ces deux années, près de 7 000 heures se sont écoulées sans surveillance des dioxines sur les deux lignes de combustion, en raison de dysfonctionnements enregistrés sur les deux lignes. Des conditions d'incinération inadéquates sont un facteur connu contribuant à la formation de dioxines et d'autres substances extrêmement préoccupantes (SVHC). Il est probable que ces 6 936 heures non surveillées ont probablement abouti à des émissions élevées de POP pendant une période considérable. TW a déjà analysé des données techniques liées à la combustion concernant les émissions de gaz de combustion provenant d'incinérateurs de déchets.

Une contre-étude a été commandée par l'Agence régionale de santé (ARS) en 2023. L'ARS a confirmé les conclusions de TW à Ivry-sur-Seine en 2021 et a également détecté des dioxines dans des œufs de poule provenant d'autres sites autour de Paris. Le rapport de l'ARS présentait des congénères de dioxines typiques liés à l'incinération, à savoir les congénères hepta- et octa-dioxines (HpCDD et OCDD), qui ont également été identifiés à des niveaux élevés dans les œufs de poule à Ivry-sur-Seine en 2023. Le même profil typique de congénères avait été trouvé par TW en 2021. L'ARS a publié un avis général déconseillant la consommation d'œufs de poules issues de poulaillers urbains dans une vaste zone avec une population très dense, présentant ainsi le problème de la contamination par les dioxines comme un problème touchant principalement les poules issues de poulaillers urbains. TW a toutefois toujours soutenu que les résultats élevés en dioxines indiquaient un problème environnemental plus large, et pas seulement un « problème lié aux œufs ».

2.1.3. Troisième étude de biosurveillance TW sur les POP dans les sols et dans la végétation (2024)

Afin de démontrer que les analyses de dioxines reflètent un problème de pollution atmosphérique plus large que le simple problème d'œufs contaminés, TW a mené un projet de biosurveillance encore plus étendu en 2024. Soutenue par Zero Waste Europe, cette étude s'est concentrée sur les sols et la végétation à Ivry-sur-Seine.

Les résultats des analyses ont clairement montré une contamination par les POP dans les échantillons de sol et de végétation prélevés à proximité d'Ivry-sur-Seine. Contrairement aux poules, ces biomatrices ne sont pas influencées par des facteurs confondants tels que l'alimentation, les matériaux des

poulaillers ou les produits vétérinaires. Elles reflètent principalement les dépôts de ?? PO provenant de l'air, compte tenu de l'histoire environnementale des sites d'échantillonnage.

2.1.4. Quatrième étude de biosurveillance TW sur les POP dans les filtres à air d'écoles primaires (2024-2025)

La présente étude TW examine la présence de POP dans les filtres à air extérieur de cinq (5) écoles primaires situées à moins de 1 500 m de l'incinérateur de déchets Ivry-Paris XIII à Ivry-sur-Seine, au sud-est de Paris.

2.2. L'incinération des déchets à Ivry-Paris XIII (IPXIII)

L'incinérateur de déchets Ivry-Paris XIII est l'un des plus grands d'Europe. Construit en 1969, il a été modernisé à plusieurs reprises au cours des décennies suivantes. Après plus de 50 ans d'exploitation, l'installation a atteint la fin de sa durée de vie. Une nouvelle usine de valorisation énergétique des déchets (VED) est en cours de construction sur le même site et devrait entrer en service en octobre 2025. Elle permettra de récupérer l'énergie produite par les déchets de 1,4 million d'habitants de la région parisienne, avec une capacité réduite de 350 000 tonnes par ligne de combustion et par an, soit environ 50 % de moins que l'usine actuelle.

Pendant plus d'un demi-siècle, le paysage urbain d'Ivry-sur-Seine a été marqué par les deux cheminées de l'IPXIII, une pour chaque ligne de combustion. La nouvelle usine de valorisation énergétique des déchets sera toutefois équipée d'un système de nettoyage des gaz de combustion à sec, ce qui signifie qu'aucun panache visible ne devrait apparaître dans des conditions de combustion optimales. De plus, ses deux lignes de combustion seront intégrées dans une seule grande tour qui ressemble à une cheminée traditionnelle. Jusqu'à présent, les deux panaches sont restés visibles pendant des décennies en raison du système de nettoyage humide des gaz de combustion, mais ils devraient disparaître avec la mise en opération de la nouvelle usine en octobre 2025.

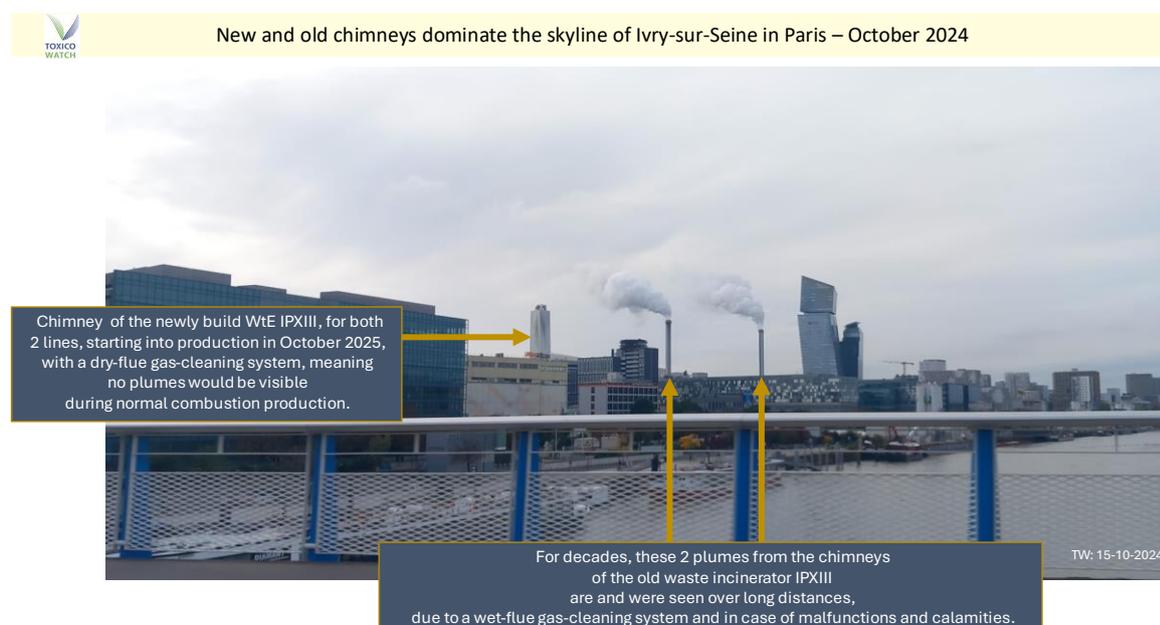


Figure 1 : Les anciennes et nouvelles cheminées de l'incinérateur IPXIII, Paris (15 octobre 2024)

2.3. L'étude TW sur les POP dans les filtres à air d'écoles primaires à Ivry-sur-Seine

TW remercie chaleureusement le Collectif 3R d'avoir organisé les collectes avec les mairies et les responsables des écoles primaires, ainsi que les équipes des cinq écoles ayant accepté de participer à cette étude. Cette étude vise à déterminer si des dioxines, des HAP, des PFAS et des métaux lourds sont présents dans les matériaux des filtres à air et dans la poussière utilisée pour filtrer l'air extérieur entrant.

Pour cette étude, TW a analysé trois (3) échantillons de matériaux filtrants neufs et inutilisés comme références, ainsi que seize (16) échantillons de filtres usagés provenant de différentes marques et de différents systèmes de filtration. **Les résultats de l'analyse de ces filtres à air scolaires fournissent une indication sur la rétention des POP provenant de l'air extérieur.** Des études supplémentaires sont nécessaires pour évaluer l'efficacité globale des filtres scolaires et la qualité de l'air à l'intérieur des salles de classe.

Cette étude s'inscrit dans le prolongement et le suivi d'études antérieures menées par TW autour de l'incinérateur de déchets IPXIII à Ivry-sur-Seine en 2021-2024, dans le but de mieux comprendre la contamination par les POP autour de l'incinérateur.

3. L'échantillonnage

3.1. L'échantillonnage du matériau des filtres à air d'écoles à Ivry-sur-Seine

Les échantillons de filtres scolaires ont été prélevés par l'équipe TW en octobre 2024 (voir figure 2) et en février 2025 par le Collectif 3R, qui a été mandaté par TW pour effectuer un échantillonnage complémentaire. Les échantillons ont été prélevés à des endroits situés entre 200 et 1 180 mètres de l'incinérateur de déchets d'Ivry Paris XIII, dans différentes directions du vent. Les filtres à air de cinq (5) écoles primaires, ainsi qu'un (1) échantillon de poussière intérieure provenant d'une maison privée, ont été inclus.

Les filtres scolaires propres (à titre de référence) et usagés (contenant de la poussière) ont été collectés en octobre 2024 par TW et en février 2025 par Le Collectif 3R. La poussière collectée à partir des filtres scolaires et de l'échantillon intérieur a été analysée afin de détecter la présence de POP tels que les dioxines, les HAP et les PFAS, ainsi qu'un nombre limité de métaux lourds.

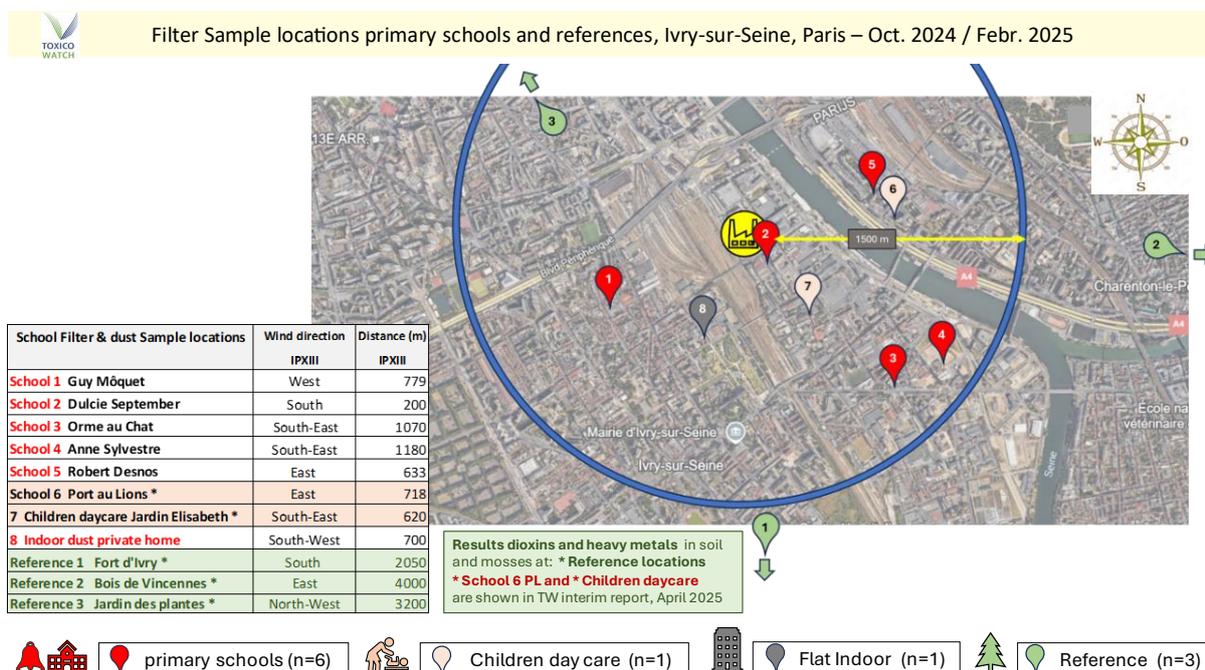


Figure 2 : Les lieux d'échantillonnage : cinq filtres à air d'écoles primaires et un échantillon de poussière intérieure provenant d'une maison privée, octobre 2024

Les filtres ont été retirés par les services techniques des écoles aux fins de cette étude TW. Selon les services techniques, la fréquence habituelle de remplacement du matériau de collecte de poussière dans les systèmes de filtration est de 6 à 12 mois.

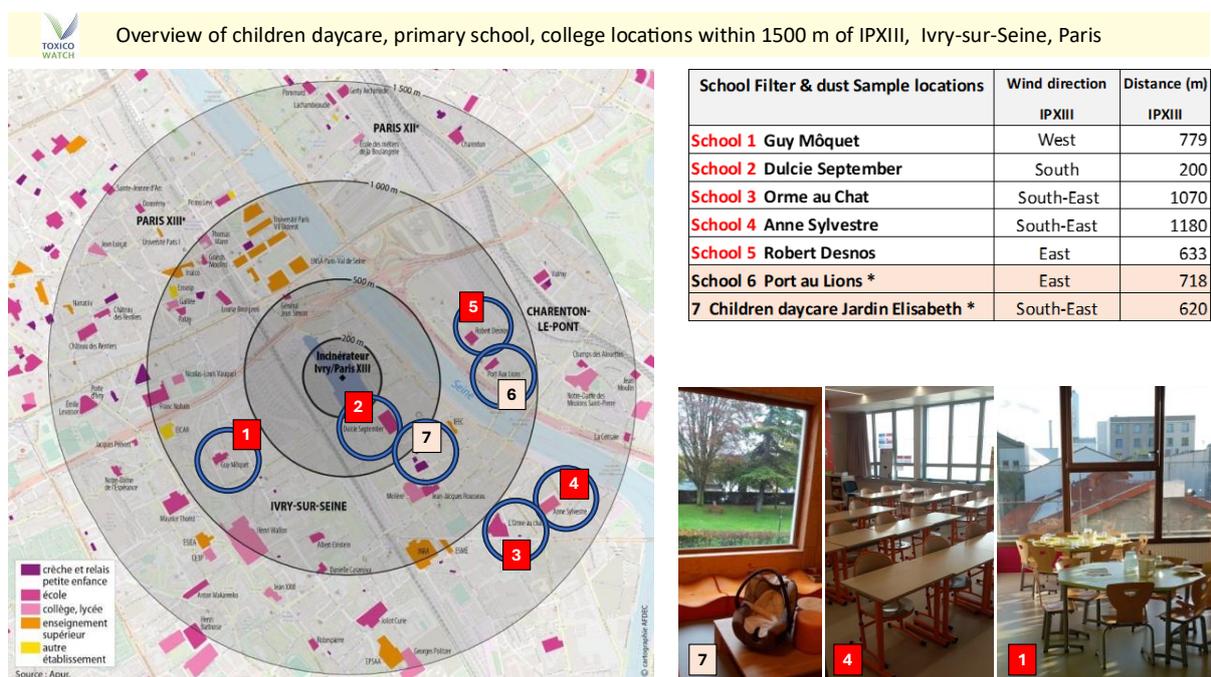


Figure 3 : La carte générale des crèches et écoles primaires situées dans un rayon de 1 500 m autour de l'incinérateur IPXIII

La poussière a été retirée du matériau filtrant en laboratoire. Cependant, pour les filtres provenant de deux écoles (Dulcie September et Robert Desnos), il n'a pas été possible de séparer la poussière du matériau filtrant. Comme les échantillons contiennent également du matériau filtrant, les résultats sont inférieurs à ceux des autres filtres.

À titre de référence, TW a analysé du matériau filtrant propre et inutilisé (mousse de polyuréthane) afin de détecter la présence de polluants organiques persistants tels que les dioxines et les PFAS. Des morceaux de ce matériau filtrant inutilisé ont été coupés en segments de 1 cm et trempés pendant 2 heures dans un liquide à base de toluène.

Conçue par Le Collectif 3R, la carte de la figure 3 montre toutes les crèches, écoles primaires, collèges et autres établissements scolaires situés à proximité de l'IPXIII. Les lieux d'échantillonnage de cette étude sont numérotés sur la carte. Ils sont tous situés à moins de 1 500 m de l'incinérateur de déchets et sous l'influence des émissions de POP provenant de l'IPXII.

Il convient de noter que les matériaux filtrants utilisés dans cette étude ont été conçus pour capturer les poussières (fines) provenant de l'air extérieur entrant. Aucun additif comme le charbon actif ou d'autres produits chimiques, couramment utilisés dans les systèmes de purification de l'air des incinérateurs de déchets, n'était présent dans les filtres des écoles.



Figure 4 : L'échantillonnage des filtres à air par un technicien avec l'équipe TW à l'école 4 (Anne Sylvestre), 16 octobre 2024

3.2. Les écoles primaires participantes à l'étude sur les filtres à air, octobre 2024

En collaboration avec le Collectif 3R, l'équipe TW a collecté en octobre 2024 et février 2025 des matériaux de filtres à air dans les écoles primaires participantes. Le tableau 1 ci-dessous répertorie les écoles qui ont fourni des matériaux de filtres de référence usagés et/ou propres.

Sampling primary school air filters, Ivry-sur-Seine, Paris, October 2024								
Sample date	Loc. Nr.	Filter material: Used / Clean	Filter & dust Sample locations	Wind direction IPXIII	Distance (m) IPXIII	TW Reference number TW-REF-NR	Analyse substances	Analyse Method
16-10-2024	1	Air Filter dust - USED	School 1: Guy Môquet, I-P	West	779	24TWPA-GM-RFD-S-1	dioxins	DR CALUX
		Air Filter dust - USED				24TWPA-GM-RFD-S-1	PAH	PAH CALUX
		Air Filter dust - USED				24TWPA-GM-RFD-S-1	PFAS	PFAS CALUX
10-10-2024	2	Air Filter - CLEAN	School 2: Dulcie September, I-P	South	200	25TWPA-S2-DS-RFD-CL-T1A	dioxins	DR CALUX
		Air Filter dust - USED				25TWPA-S2-DS-RFD-Us-T1B	dioxins	DR CALUX
		Air Filter dust - USED				25TWPA-S2-DS-RFD-Us-T1B	PAH	PAH CALUX
		Air Filter dust - USED				25TWPA-S2-DS-RFD-Us-T1B	PFAS	PFAS CALUX
		Air Filter dust - USED				25TWPA-S2-DS-RFD-Us-T1A	Heavy Metals [5]	ICP-MS
10-10-2024	3	Air Filter dust - USED	School 3: Orme au Chat, I-P	South-East	1070	25TWPA-S3-OaC-RFD-Us	dioxins	DR CALUX
		Air Filter dust - USED				25TWPA-S3-OaC-RFD-Us	PAH	PAH CALUX
		Air Filter dust - USED				25TWPA-S3-OaC-RFD-Us	PFAS	PFAS CALUX
16-10-2024	4	Air Filter dust - USED	School 4: Anne Sylvestre, I-P	South-East	1180	24TWPA-AS-RFD-S-4	dioxins	DR CALUX
		Air Filter dust - USED				24TWPA-AS-RFD-S-4	PAH	PAH CALUX
		Air Filter dust - USED				24TWPA-AS-RFD-S-4	PFAS	PFAS CALUX
10-10-2024	5	Air Filter - CLEAN	School 5: Robert Desnos, C-I-P	East	633	25TWPA-S.5-RD-RFD-CL	dioxins	DR CALUX
		Air Filter - CLEAN				25TWPA-S.5-RD-RFD-CL	PFAS	PFAS CALUX
		Air Filter dust - USED				25TWPA-S.5-RD-RFD-Us	dioxins	DR CALUX
		Air Filter dust - USED				25TWPA-S.5-RD-RFD-Us	PAH	PAH CALUX
		Air Filter dust - USED				25TWPA-S.5-RD-RFD-Us	PFAS	PFAS CALUX
16-10-2024	8	Indoor dust	D.H. indoor private house I-P	South-West	700	24TWPA-DH-ID	dioxins	DR CALUX
		Indoor dust				24TWPA-DH-ID	PFAS	PFAS CALUX

Tableau 1 : La localisation des écoles primaires à Ivry-sur-Seine ayant participé à l'analyse des POP dans le matériau des filtres à air

3.2.1. Les échantillons de filtres à air - École primaire 1 : Guy Môquet

La première école primaire visitée par TW pour collecter des matériaux de filtres à air était Guy Môquet. Un technicien du service technique de l'école a accompagné l'équipe TW jusqu'aux installations de filtrage situées sur le toit du bâtiment scolaire et lui a fait visiter les lieux tout en lui expliquant le fonctionnement du système de filtrage.

Les filtres à air usagés avaient été installés en janvier 2024 ; au 16 octobre 2024, ils avaient collecté la poussière provenant de l'air extérieur pendant neuf (9) mois. Le technicien a confirmé que ce système de filtration est un système VMI actif. Les échantillons de filtres ont été analysés pour détecter la présence de dioxines, de HAP et de PFAS par le biais d'essais biologiques, à savoir respectivement DR CALUX, PAH CALUX et PFAS CALUX.

Des échantillons de mousses (bryophytes) provenant du toit et des échantillons de sol ont également été prélevés et analysés pour détecter la présence de dioxines et de métaux lourds. Ces résultats sont présentés dans le précédent rapport intermédiaire de biosurveillance TW (1^{er} avril 2025). Quatre analyses supplémentaires sur les PFAS dans la mousse seront présentées dans le chapitre consacré aux PFAS.

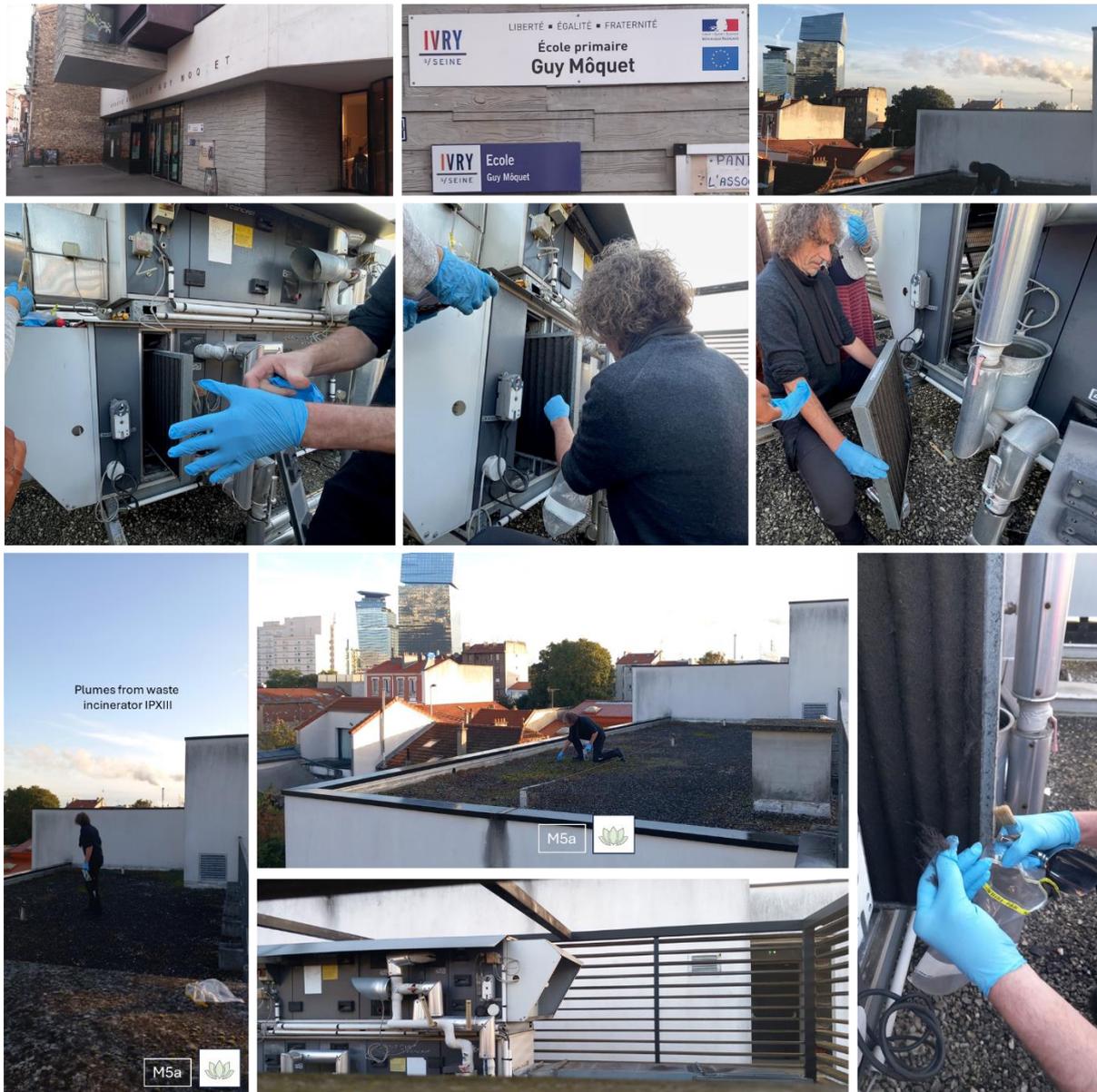
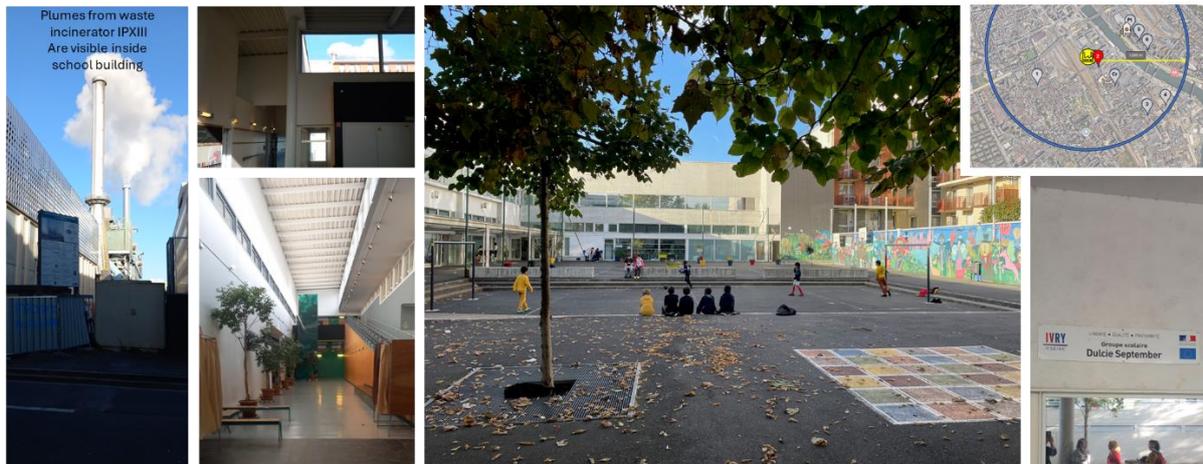


Figure 5 : L'échantillonnage de matériaux de filtres à air à l'école primaire 1 (Guy Môquet), 16 octobre 2024

3.2.2. Les échantillons de filtres à air - École primaire 2 : Dulcie September

La deuxième école primaire incluse dans cette étude est Dulcie September. Le 16 octobre 2024, l'équipe TW a prélevé des échantillons de sol et de mousse (bryophytes) dans la cour de l'école afin d'analyser la présence de dioxines et de métaux lourds. Ces résultats sont présentés dans le rapport intermédiaire de biosurveillance TW pour Ivry-sur-Seine (1^{er} avril 2025).

En février 2025, Collectif 3R a fourni les échantillons de filtres à air : Type 1 (T1A) et Type 2 (T1B). TW a analysé les dioxines présentes dans le matériau filtrant propre et inutilisé (T1A) ainsi que dans le matériau filtrant utilisé de type 2 (T1B) à l'aide de l'essai biologique DR CALUX. Le matériau filtrant usagé (T1B) a également été analysé pour détecter la présence de HAP, de PFAS et de métaux lourds [arsenic (As), cadmium (Cd), mercure (Hg), nickel (Ni) et plomb (Pb)].



Sample date	loc. / BioMat.	Samples/ Biomarker	Location (Primary school)	Wind direction	Distance meter (m)	16-19 October 2024 TW-REF-NR	Results of dioxins and heavy metals in soil and moss samples are published in TW interim report, April 2025
2 16-10-2024	2	Soil school playground	School 2: Dulcie September, I-P	South	200	24TWPA-DS-S-2-Soil-2	
16-10-2024	M6	Mosses (Bryophyta) roof playground	School 2: Dulcie September, I-P			24TWPA-DS-S-2-Mos-6	

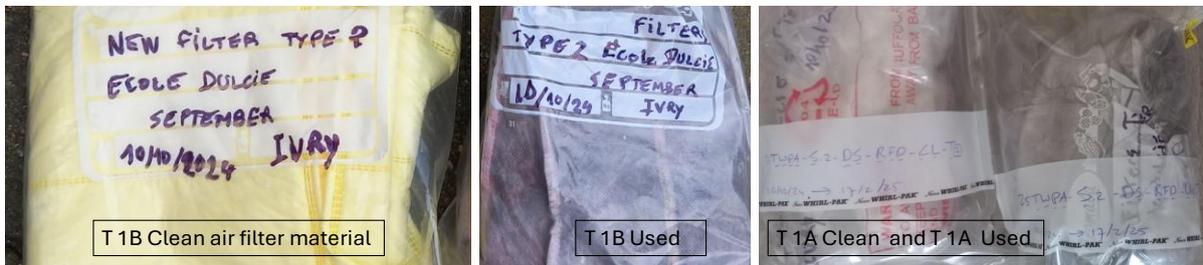


Figure 6 : Des échantillons de matériaux de filtres à air provenant de l'école primaire 2 – Dulcie September, octobre 2024

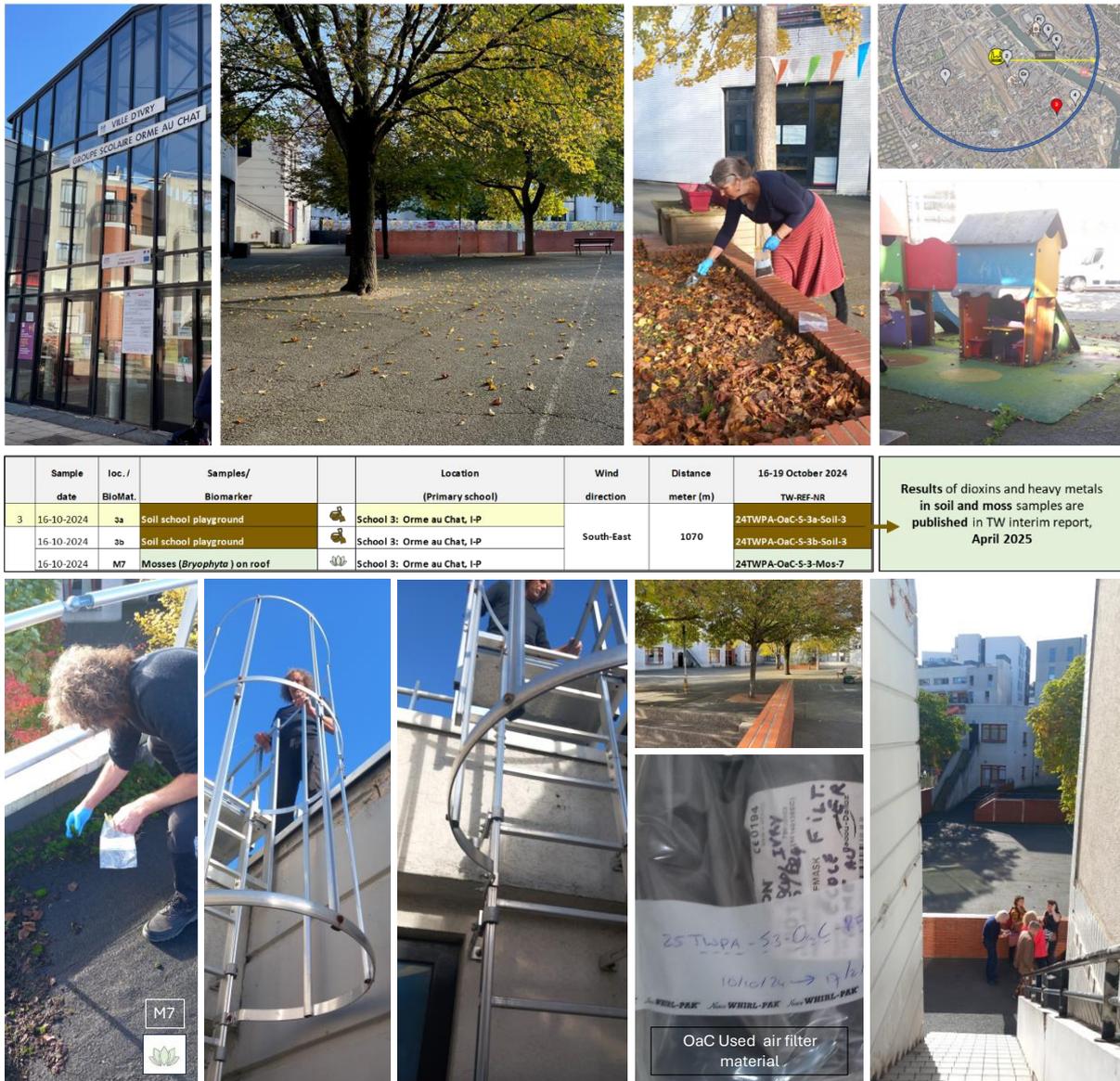
Le rapport d'analyse en laboratoire pour les dioxines (échantillons n° 51215 et 51216) précise que : « Les échantillons de filtres à air sont constitués de matériau filtrant auquel des particules de poussière sont liées. Les résultats reflètent donc à la fois le matériau filtrant et la poussière. La quantité de particules de poussière dans le matériau filtrant peut être faible. » (Voir chapitre 5.2, page 24).

3.2.3. Les échantillons de filtres à air - École primaire 3 : L'Orme au Chat

L'école primaire L'Orme au Chat est située à 1 070 mètres au sud-est de l'incinérateur de déchets IPXIII. Le 16 octobre 2024, l'équipe TW a prélevé des échantillons de sol et de mousse (bryophytes) dans la cour et sur le toit du bâtiment scolaire. Ces échantillons ont été analysés pour détecter la présence de dioxines et de métaux lourds, et les résultats ont été présentés dans le rapport intermédiaire de TW sur la biosurveillance à Ivry-sur-Seine (1^{er} avril 2025).

En février 2025, Le Collectif 3R a fourni des échantillons de filtres à air usagés. Ceux-ci ont été analysés pour détecter la présence de dioxines, de HAP et de PFAS à l'aide des essais biologiques DR CALUX, PAH CALUX et PFAS CALUX.

Le rapport d'analyse du laboratoire (n° 23059, échantillon 51217) indiquait : « À partir de ce filtre, la poussière a pu être collectée séparément ; par conséquent, les résultats sont exprimés plus directement par gramme de poussière. » Cela correspond à l'approche que TW souhaite adopter pour tous les échantillons de filtres des écoles participantes, c'est-à-dire mesurer spécifiquement la teneur en poussière (voir chapitre 5.2, page 24).



Results of dioxins and heavy metals in soil and moss samples are published in TW interim report, April 2025

Figure 7 : La collecte d'échantillons de matériaux de filtres à air à l'école primaire 3 (L'Orme au Chat), octobre 2024

3.2.4. Les échantillons de filtres à air - École primaire 4 : Anne Sylvestre

L'école primaire Anne Sylvestre, de construction récente, située à 1 180 mètres au sud-est de l'incinérateur de déchets IPXIII, a fourni du matériel de filtration d'air à TW en octobre 2024. Le technicien de l'école a guidé l'équipe TW jusqu'à l'installation de filtres sur le toit et lui a remis le matériel de filtration dans son cadre en aluminium.

Le matériau filtrant usagé a été retiré du cadre en aluminium et analysé pour détecter la présence de dioxines, de HAP et de PFAS à l'aide respectivement de DR CALUX, PAH CALUX et PFAS CALUX. En outre, l'équipe TW a prélevé des échantillons de sol et de végétation dans les zones nouvellement plantées de la cour de l'école. Ceux-ci ont été analysés pour détecter la présence de dioxines et de métaux lourds. Les résultats ont été présentés dans le rapport intermédiaire de biosurveillance TW (1^{er} avril 2025).



Sample date	loc. / BioMat.	Samples/ Biomarker	Location (Primary school)	Wind direction	Distance meter (m)	16-19 October 2024 TW-REF-NR
16-10-2024	4	Soil school playground	School 4: Anne Sylvestre, I-P	South-East	1180	24TWPA-AS-S-4-Soil-4
16-10-2024	M8	Vegetation/ <i>Viburnum</i> flower-leaves	School 4: Anne Sylvestre, I-P			24TWPA-AS-S-4-Mos-8
16-10-2024	2	Roof Filter dust	School 4: Anne Sylvestre, I-P			24TWPA-AS-RFD-S-4



Figure 8 : La collecte d'échantillons de matériaux de filtres à air à l'école primaire 4 (Anne Sylvestre), octobre 2024

3.2.5. Les échantillons de filtres à air - École primaire 5 : Robert Desnos

L'école primaire Robert Desnos, située à 633 mètres à l'est de l'IPXII, a également été incluse dans l'étude. Le 16 octobre 2024, TW a prélevé des échantillons de sol et de mousse (bryophytes) dans des bacs à végétation placés dans une cour surélevée utilisée pour les activités sportives. Ceux-ci ont été analysés pour détecter la présence de dioxines et de métaux lourds, et les résultats ont été présentés dans le rapport intermédiaire de biosurveillance TW (1^{er} avril 2025).

En février 2025, le Collectif 3R a fourni des échantillons de filtres à air propres et usagés. Les filtres propres ont été analysés pour détecter la présence de dioxines et de PFAS, tandis que les filtres à air usagés ont été analysés pour détecter la présence de dioxines, de HAP et de PFAS à l'aide des essais biologiques DR CALUX, PAH CALUX et PFAS CALUX.

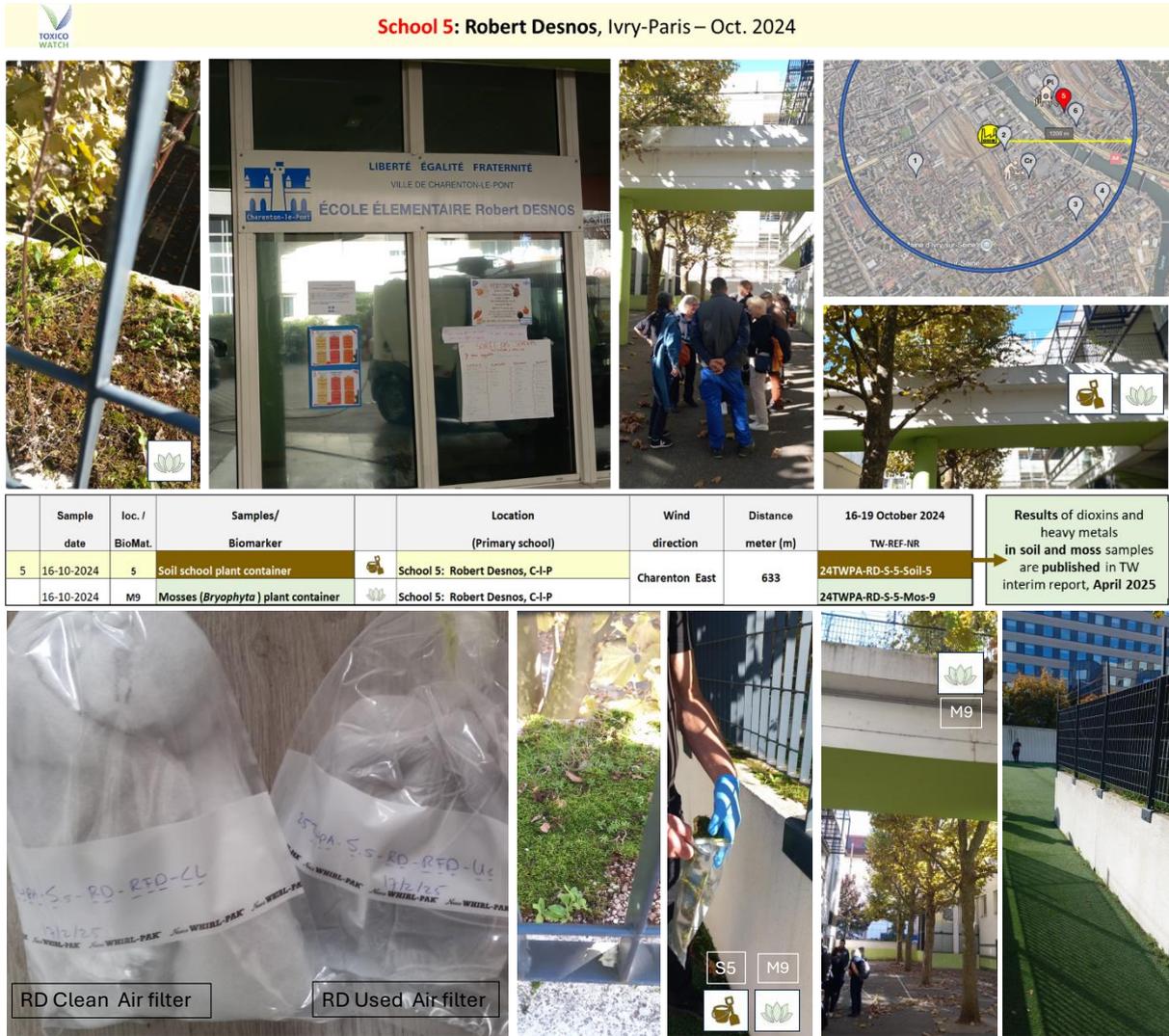


Figure 9 : La collecte d'échantillons à l'école primaire 5 : Robert Desnos, octobre 2024

Le rapport d'analyse en laboratoire pour les dioxines (échantillons n° 51218 et 51219) indique : « Les échantillons de filtres à air sont constitués de matériaux filtrants auxquels des particules de poussière sont liées. Les résultats reflètent donc les matériaux filtrants et les particules de poussière. La quantité de particules de poussière dans les matériaux filtrants peut être faible. » (Voir chapitre 5.2, page 24).

3.3. L'échantillonnage de poussière intérieure - domicile privé, Ivry-sur-Seine

En octobre 2024, l'équipe TW a reçu un échantillon de poussière intérieure provenant d'un habitant d'Ivry-sur-Seine, vivant à 700 mètres de l'incinérateur de déchets IPXIII, dans la direction du vent sud-ouest.

La poussière a été collectée par l'habitant à l'intérieur de la vitre et du rebord de fenêtre de son domicile, à l'aide d'un récipient en verre. L'appartement est situé au dernier étage, au 4e étage, d'un immeuble résidentiel, avec des fenêtres donnant sur l'incinérateur IPXIII dans la direction du vent nord-est.



Figure 1: L'emplacement de l'échantillon de poussière intérieure, à 700 m de l'incinérateur de déchets IPXIII, octobre 2024

L'échantillon de poussière intérieure collecté, obtenu par le résident conformément aux prescriptions techniques d'échantillonnage de TW, a été analysé pour détecter la présence de dioxines et de PFAS à l'aide des méthodes de bio-essai DR CALUX et PFAS CALUX, respectivement.

4. Méthodes d'analyse

4.1. Les dioxines - méthode d'analyse par essai biologique DR CALUX

L'essai biologique DR CALUX® (Dioxin Responsive Chemical Activated Luciferase gene eXpression) est utilisé pour la quantification des dioxines, des furanes et des PCB de type dioxine (dl-PCB). Les résultats obtenus avec DR CALUX sont exprimés en pg TEQ/g de produit. Les analyses ont été effectuées par BioDetection Systems (BDS) à Amsterdam, aux Pays-Bas (NL), un laboratoire accrédité sous RvA L401.

L'analyse par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS) est spécifique à chaque congénère et ne mesure que les composés réglementés par l'UE : 7 dioxines

chlorées (PCDD), 10 furanes chlorés (PCDF) et 12 polychlorobiphényles de type dioxine (dl-PCB), voir figure 11 ci-dessous.

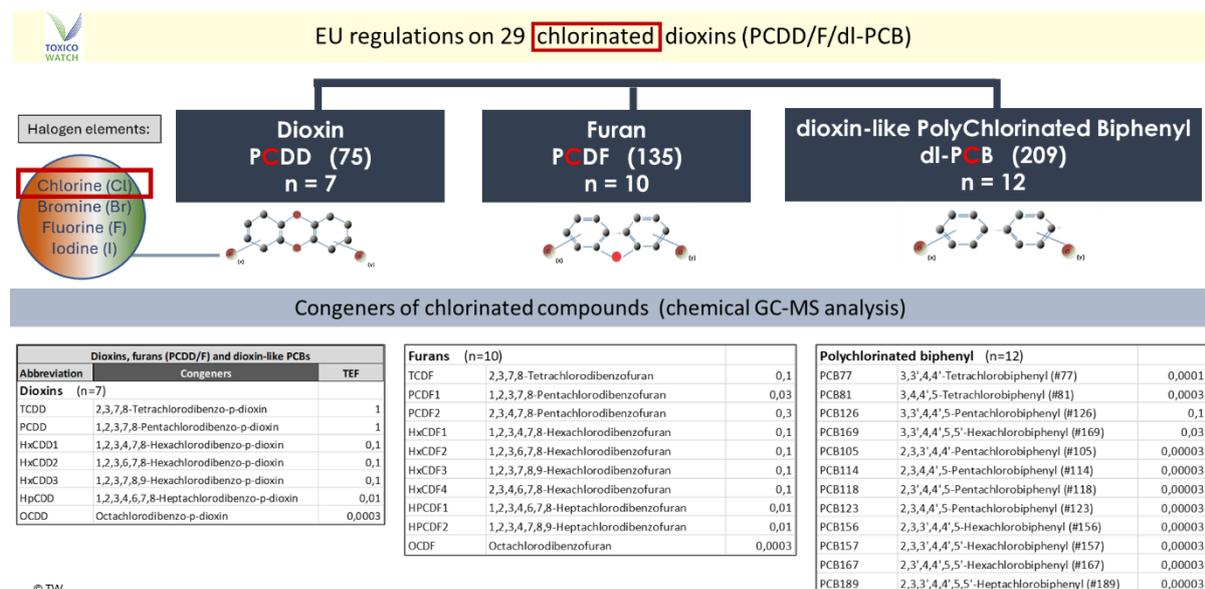
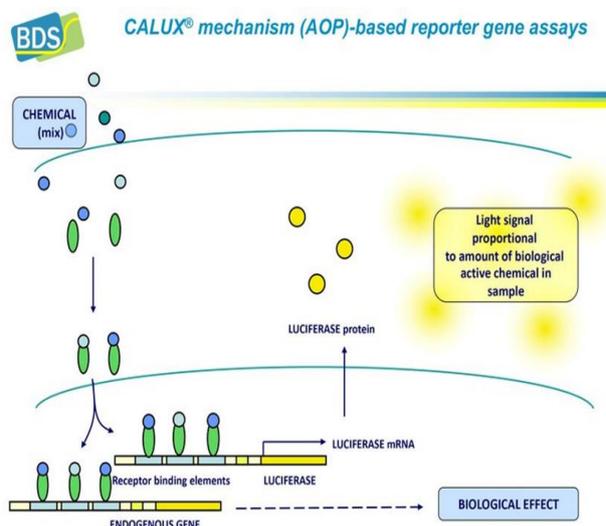


Figure 11 : Un aperçu des 29 analyses chimiques spécifiques aux congénères de dioxines par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS)

La méthode DR CALUX mesure les effets sur le récepteur des hydrocarbures aromatiques (ArH). Ce récepteur réagit également à d'autres substances de type dioxine, notamment les **dioxines bromées** et/ou mixtes chlore/brome (PBDD/F-PXDD/F).



Les retardateurs de flamme bromés (BFR) sont largement utilisés dans la fabrication des plastiques et des composants électroniques et constituent une part importante des flux de déchets modernes. Il a été démontré que les dioxines bromées ont une toxicité équivalente à celle des dioxines chlorées. Cependant, elles ne font pas l'objet de réglementation dans la législation européenne sur les émissions et la sécurité alimentaire. La chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS) est spécifique aux congénères, tandis que l'essai biologique lié aux dioxines (DR CALUX) quantifie la toxicité globale d'un mélange, y compris les dioxines chlorées et halogénées mixtes.

4.2. HAP - méthode d'analyse par essai biologique PAH CALUX

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont une classe de contaminants environnementaux très répandus impliqués dans un large éventail d'effets toxicologiques. La mesure systématique de la contamination par les HAP implique généralement l'analyse chimique d'un groupe sélectionné de composés représentatifs, comme les 16 HAP définis par l'Agence américaine de protection de l'environnement (EPA-16). Cette approche peut sous-estimer la toxicité totale liée aux HAP d'un échantillon.

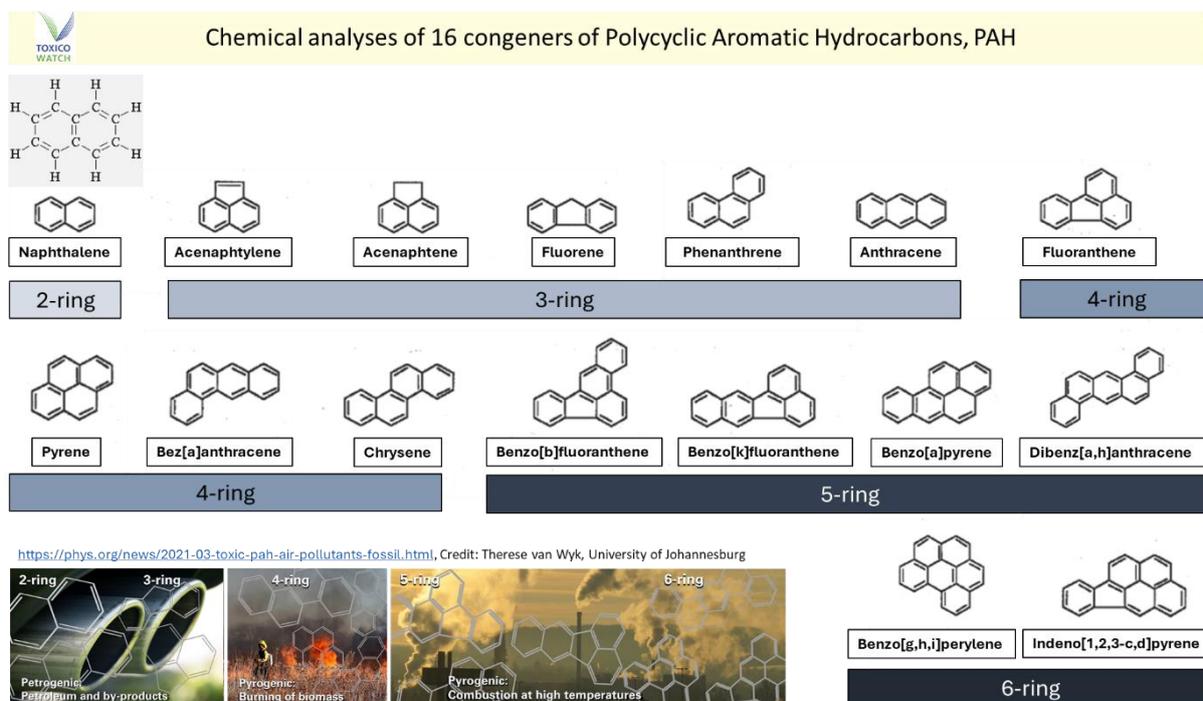
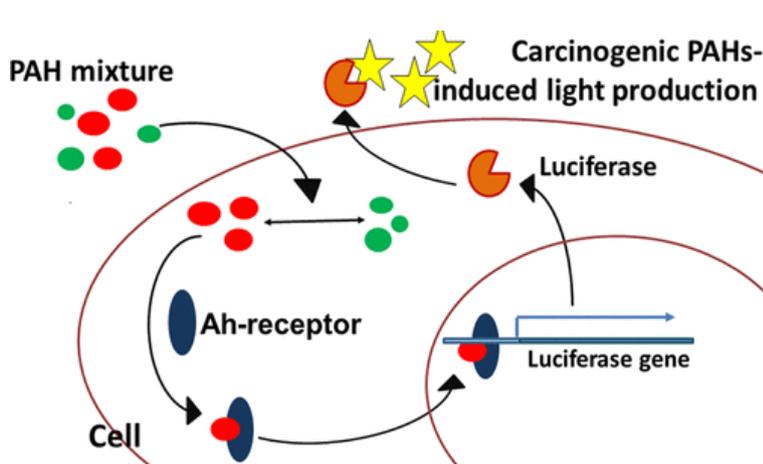


Figure 12 : Les analyses chimiques de 16 congénères d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)



Le test PAH CALUX utilise un système de rapporteur à base de cellules mammifères H4IIE pour l'identification des dangers des mélanges totaux de HAP. Cette lignée cellulaire permet une quantification spécifique et fiable de l'activité luciférase induite par l'Ahr par rapport au benzo[a]pyrène (B[a]P), un cancérigène de classe 1B. Les résultats sont exprimés en ng d'équivalents B[a]P par gramme de matière sèche (dm) ou de poids sec (dw).

4.3. PFAS - méthode d'analyse par essai biologique PFAS CALUX

On estime qu'il existe des milliers de composés PFAS, y compris les produits de transformation formés lors d'une combustion incomplète ou xénométabolisme. Les évaluations actuelles de la sécurité alimentaire ne prennent en compte que quatre (4) congénères PFAS, sans tenir compte de la puissance relative (REP) des composés individuels.

Les analyses chimiques des PFAS sont limitées : selon le laboratoire, seules 4 à 55 substances PFAS sont mesurées de manière systématique. Cela signifie que moins de 0,1 % du total des composés PFAS peuvent être quantifiés par des analyses chimiques

Le PFAS CALUX® utilise des lignées cellulaires de moelle osseuse humaine (U2OS) incorporant le gène de la luciférase de luciole sous le contrôle d'éléments sensibles à la thyroïde (TRE). Il détecte les composés inhibiteurs de type hormone thyroïdienne en se basant sur la capacité des PFAS à entrer en compétition avec la thyroxine (T4) pour les sites de liaison de la transthyrétine (TTR). L'augmentation des concentrations de PFAS réduit la T4 liée à la TTR. La perturbation de la liaison T4-TTR est comparée à l'acide perfluorooctanoïque (PFOA), avec une valeur de référence un (1), analogue à la TCDD dans les calculs TEQ. **Les résultats du PFAS CALUX® sont exprimés en µg d'équivalent PFOA par gramme de produit.** Cela permet d'obtenir une estimation plus précise de la pression toxique que la simple addition de quelques concentrations de congénères.

La recherche de biosurveillance ToxicoWatch applique à la fois l'essai biologique PFAS CALUX® et l'analyse chimique (LC-MS/MS). La réglementation européenne actuelle ne traite que la somme Σ de 4 composés PFAS, définis par l'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA) : PFOA, PFOS, PFHxS et PFNA (EFSA-4). Cela représente un sous-ensemble très limité des PFAS toxiques désormais fréquemment détectés dans les environnements contaminés.

Les analyses chimiques des PFAS et des métaux lourds sont effectuées par le laboratoire accrédité Normec, Groen Agro Control, Delft, Pays-Bas (NL). Les analyses chimiques des PFAS sont réalisées à l'aide de la LC-MS/MS, couvrant un total de Σ 24 composés PFAS.

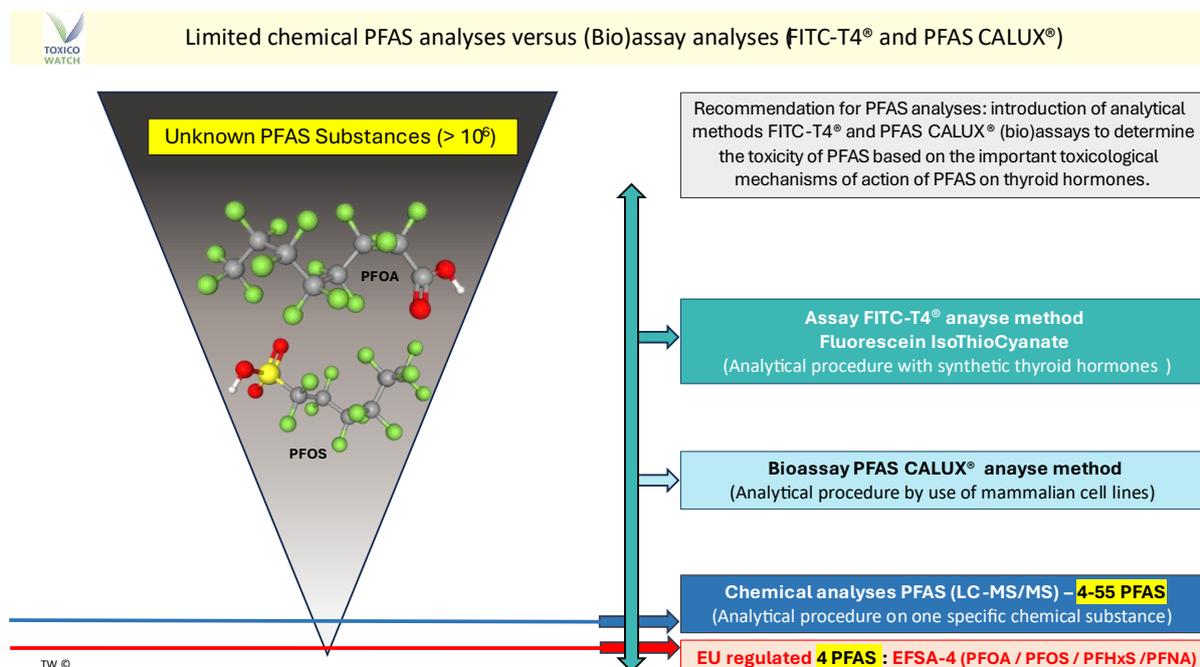
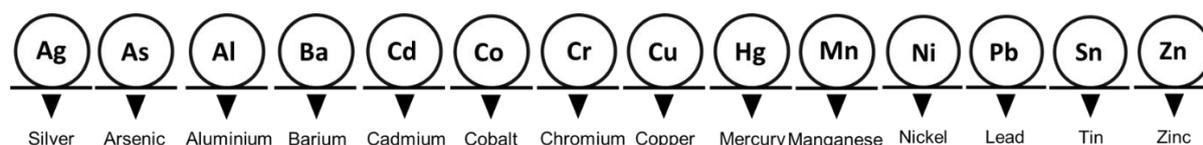


Figure 13 : Analyses chimiques limitées des PFAS par rapport aux analyses (bio)analytiques (FITC-T4® et PFAS CALUX®)

4.4. Les métaux lourds [14]

L'analyse des métaux lourds a été réalisée par le laboratoire accrédité Normec Groen Agro Control, avec la technique ICP-MS. La méthode suit les protocoles Normec A068 et A095, conformément aux normes NEN-EN 13805 et NEN-EN-ISO 17294-2.

L'approche ToxicWatch pour l'analyse des échantillons en métaux lourds comprend 14 éléments, comme indiqué ci-dessous. Cependant, il peut arriver, comme dans cette étude, que le laboratoire NORMEC Agro Groen Control ne puisse pas analyser les 14 éléments demandés. Cela peut être dû à plusieurs facteurs, tels qu'une quantité insuffisante d'échantillons et/ou l'utilisation de supports d'échantillonnage innovants (par exemple, des matériaux de filtration de l'air).



Les résultats de l'analyse des métaux lourds sont exprimés en mg/kg de matière sèche (MS), ce qui équivaut à la matière sèche (dm) ou au poids sec (dw) (respectivement « dry matter » et « dry weight » en anglais).

Il convient de noter que cette étude porte sur des mesures indicatives exprimées en poids. Elle n'évalue pas la qualité globale des filtres et n'est pas exprimée par unité de surface (m²).

5. Les résultats

5.1. L'analyse des résultats des filtres à air scolaires pour les dioxines, les dl-PCB, les HAP et les PFAS

Les résultats de l'analyse des dioxines, des HAP et des PFAS provenant de 3 échantillons de filtres à air neufs et non utilisés et de 16 échantillons de filtres à air usagés provenant de systèmes de filtration dans des écoles primaires d'Ivry-sur-Seine sont présentés dans l'infographie de la figure 14 ci-dessous. Les résultats sont représentés visuellement par école primaire sur la carte à l'aide d'une échelle de couleurs indicative, avec l'incinérateur de déchets IPXIII au centre. Toutes les écoles primaires sont situées à moins de 1 500 m de l'IPXIII.

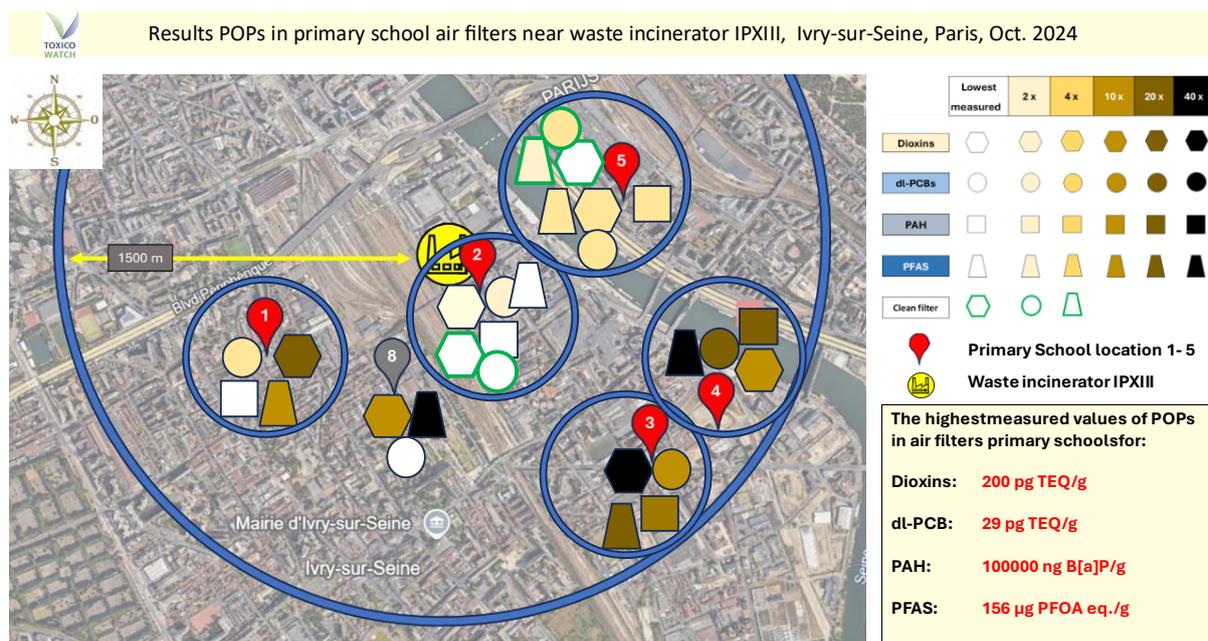


Figure 14 : Carte des résultats des POP dans les filtres à air des écoles primaires situées à proximité de l'incinérateur de déchets IPXIII, Ivry-sur-Seine, octobre 2024

Les tableaux 2 et 3 présentent un aperçu des résultats des essais biologiques innovants - DR CALUX, PAH CALUX et PFAS CALUX - pour les dioxines, les HAP et les PFAS dans la poussière des filtres à air et les matériaux filtrants des écoles. Le tableau 2 se concentre sur les méthodes d'analyse et les résultats par emplacement d'école primaire, alors que le tableau 3 présente les résultats par méthode d'analyse (bio) (DR CALUX, PAH CALUX et PFAS CALUX). Afin de mieux visualiser l'ampleur des valeurs élevées par substance (dioxines, HAP, PFAS), TW a appliqué une méthode d'échelle de couleurs indicative. L'échelle est basée sur la valeur analytique la plus basse par méthode, avec des seuils successifs à 2, 4, 10, 20 et 40 fois la valeur de référence.

Tous les échantillons de filtres à air et de poussière intérieure des écoles analysés contenaient des niveaux mesurables de dioxines, de HAP et de PFAS.

Les niveaux relativement faibles de dioxines, de HAP et de PFAS trouvés dans les filtres à air usagés des écoles 2 (Dulcie September) et 5 (Robert Desnos) peuvent s'expliquer par une mauvaise efficacité de filtration et/ou par « l'effet parapluie », en particulier dans le cas de l'école 2, située à proximité de l'IPXIII. Il est remarquable que le nouveau matériau des filtres à air de Robert Desnos (école n° 5) contenait des niveaux plus élevés de PCB de type dioxine (dl-PCB) que les filtres à air usagés correspondants. De même, les valeurs de PFAS dans le matériau des filtres à air étaient plus élevées que celles détectées dans les filtres usagés de l'école n° 2 (Dulcie September).

Results primary school Air Filter material and indoor dust, Ivry-sur-Seine, October 2024					Dioxins: DR CALUX			PAH CALUX	PFAS CALUX	
Loc. Nr.	Filter material: Used / Clean	Filter & dust Sample locations	TW Reference number TW-REF-NR	Analyse substances	Analyse Method	pg TEQ/g product (upper bound/ub)			Benzo[a]pyrene equivalent	PFOA equivalent
						PCDD/F	dL-PCB	PCDD/F/dL-PCB	ng BaP eq./g product	µg PFOA eq./g (dm)
1	Air Filter dust - USED	School 1 Guy Môquet, I-P	24TWPA-GM-RFD-S-1	dioxins	DR CALUX	43,00	6,50	49,50	6600,00	13,00
	Air Filter dust - USED		24TWPA-GM-RFD-S-1	PAH	PAH CALUX					
	Air Filter dust - USED		24TWPA-GM-RFD-S-1	PFAS	PFAS CALUX					
2	Air Filter - CLEAN	School 2: Dulcie September, I-P	25TWPA-S2-DS-RFD-CL-T1A	dioxins	DR CALUX	2,00	2,40	4,40	5100,00	0,99
	Air Filter dust - USED		25TWPA-S2-DS-RFD-Us-T1B	dioxins	DR CALUX	3,10	3,00	6,10		
	Air Filter dust - USED		25TWPA-S2-DS-RFD-Us-T1B	PAH	PAH CALUX					
	Air Filter dust - USED		25TWPA-S2-DS-RFD-Us-T1B	PFAS	PFAS CALUX					
	Air Filter dust - USED		25TWPA-S2-DS-RFD-Us-T1A	HM [5]	ICP-MS	As: 0.28 / Cd: 0.092 / Hg: 0.016 / Pb: 7.4 / Ni: 1.5				
3	Air Filter dust - USED	School 3: Orme au Chat, I-P	25TWPA-S3-OaC-RFD-Us	dioxins	DR CALUX	200,00	15,00	215,00	98000,00	33,00
	Air Filter dust - USED		25TWPA-S3-OaC-RFD-Us	PAH	PAH CALUX					
	Air Filter dust - USED		25TWPA-S3-OaC-RFD-Us	PFAS	PFAS CALUX					
4	Air Filter dust - USED	School 4: Anne Sylvestre, I-P	24TWPA-AS-RFD-S-4	dioxins	DR CALUX	25,00	29,00	54,00	100000,00	156,00
	Air Filter dust - USED		24TWPA-AS-RFD-S-4	PAH	PAH CALUX					
	Air Filter dust - USED		24TWPA-AS-RFD-S-4	PFAS	PFAS CALUX					
5	Air Filter - CLEAN	School 5: Robert Desnos, C-I-P	25TWPA-S.5-RD-RFD-CL	dioxins	DR CALUX	1,90	4,20	6,10	10000,00	2,30
	Air Filter - CLEAN		25TWPA-S.5-RD-RFD-CL	PFAS	PFAS CALUX					
	Air Filter dust - USED		25TWPA-S.5-RD-RFD-Us	dioxins	DR CALUX	6,70	2,90	9,60		
	Air Filter dust - USED		25TWPA-S.5-RD-RFD-Us	PAH	PAH CALUX					
	Air Filter dust - USED		25TWPA-S.5-RD-RFD-Us	PFAS	PFAS CALUX					
8	Indoor dust	D.H. indoor private house I-P	24TWPA-DH-ID	dioxins	DR CALUX	25,00	1,40	26,40		40,00
	Indoor dust		24TWPA-DH-ID	PFAS	PFAS CALUX					

Tableau 1 : Les résultats en matière de dioxines, HAP, PFAS, et métaux lourds dans des filtres à air d'écoles primaires, Ivry-sur-Seine, octobre 2024.

Results primary school Air Filter material and indoor dust, Ivry-sur-Seine, October 2024					Dioxins: DR CALUX			PAH CALUX	PFAS CALUX
Filter material: Used / Clean	Filter & dust Sample locations	TW Reference number TW-REF-NR	Analyse substances	Analyse Method	pg TEQ/g product (upper bound/ub)			Benzo[a]pyrene equivalent	PFOA equivalent
					PCDD/F	dL-PCB	PCDD/F/dL-PCB	ng BaP eq./g product	µg PFOA eq./g (dm)
Air Filter - CLEAN	School 5: Robert Desnos, C-I-P	25TWPA-S.5-RD-RFD-CL	dioxins	DR CALUX	1,90	4,20	6,10		
Air Filter - CLEAN	School 2: Dulcie September, I-P	25TWPA-S2-DS-RFD-CL-T1A	dioxins	DR CALUX	2,00	2,40	4,40		
Air Filter dust - USED	School 2: Dulcie September, I-P	25TWPA-S2-DS-RFD-Us-T1B	dioxins	DR CALUX	3,10	3,00	6,10		
Air Filter dust - USED	School 5: Robert Desnos, C-I-P	25TWPA-S.5-RD-RFD-Us	dioxins	DR CALUX	6,70	2,90	9,60		
Indoor dust	D.H. indoor private house I-P	24TWPA-DH-ID	dioxins	DR CALUX	25,00	1,40	26,40		
Air Filter dust - USED	School 4: Anne Sylvestre, I-P	24TWPA-AS-RFD-S-4	dioxins	DR CALUX	25,00	29,00	54,00		
Air Filter dust - USED	School 1 Guy Môquet, I-P	24TWPA-GM-RFD-S-1	dioxins	DR CALUX	43,00	6,50	49,50		
Air Filter dust - USED	School 3: Orme au Chat, I-P	25TWPA-S3-OaC-RFD-Us	dioxins	DR CALUX	200,00	15,00	215,00		
Air Filter dust - USED	School 2: Dulcie September, I-P	25TWPA-S2-DS-RFD-Us-T1A	HM [5]	ICP-MS	As: 0.28 / Cd: 0.092 / Hg: 0.016 / Pb: 7.4 / Ni: 1.5				
Air Filter dust - USED	School 2: Dulcie September, I-P	25TWPA-S2-DS-RFD-Us-T1B	PAH	PAH CALUX				5100,00	
Air Filter dust - USED	School 1 Guy Môquet, I-P	24TWPA-GM-RFD-S-1	PAH	PAH CALUX				6600,00	
Air Filter dust - USED	School 5: Robert Desnos, C-I-P	25TWPA-S.5-RD-RFD-Us	PAH	PAH CALUX				10000,00	
Air Filter dust - USED	School 3: Orme au Chat, I-P	25TWPA-S3-OaC-RFD-Us	PAH	PAH CALUX				98000,00	
Air Filter dust - USED	School 4: Anne Sylvestre, I-P	24TWPA-AS-RFD-S-4	PAH	PAH CALUX				100000,00	
Air Filter dust - USED	School 2: Dulcie September, I-P	25TWPA-S2-DS-RFD-Us-T1B	PFAS	PFAS CALUX					0,99
Air Filter - CLEAN	School 5: Robert Desnos, C-I-P	25TWPA-S.5-RD-RFD-CL	PFAS	PFAS CALUX					2,30
Air Filter dust - USED	School 5: Robert Desnos, C-I-P	25TWPA-S.5-RD-RFD-Us	PFAS	PFAS CALUX					3,50
Air Filter dust - USED	School 1 Guy Môquet, I-P	24TWPA-GM-RFD-S-1	PFAS	PFAS CALUX					13,00
Air Filter dust - USED	School 3: Orme au Chat, I-P	25TWPA-S3-OaC-RFD-Us	PFAS	PFAS CALUX					33,00
Indoor dust	D.H. indoor private house I-P	24TWPA-DH-ID	PFAS	PFAS CALUX					40,00
Air Filter dust - USED	School 4: Anne Sylvestre, I-P	24TWPA-AS-RFD-S-4	PFAS	PFAS CALUX					156,00

TW indicative scale
40 x
20 x
10 x
4x
2x
Lowest result

Tableau 1: Les résultats en matière de dioxines, HAP, PFAS, et métaux lourds dans les filtres à air d'écoles primaires comparés aux valeurs les plus basses, Ivry-sur-Seine, octobre 2024

5.2. Notes de laboratoire sur les écoles 2, 3 et 5

Dans le rapport d'analyse du laboratoire BDS, il est explicitement indiqué pour le matériau des filtres à air des écoles 2 et 5 (Dulcie September et Robert Desnos) :

« L'échantillon de laboratoire n° 51215 du filtre à air propre (Dulcie September), l'échantillon de laboratoire n° 51216 du filtre à air usagé (Dulcie September), l'échantillon de laboratoire n° 51218 du filtre à air propre (Robert Desnos) et l'échantillon de laboratoire n° 51219 du filtre à air usagé (Robert Desnos) sont constitués de matériau filtrant auquel des particules de poussière sont liées. Les résultats représentent donc le matériau filtrant plus les particules de poussière ».

Pour l'école 3 (L'Orme au Chat, échantillon de laboratoire n° : 51217), l'analyse de laboratoire a indiqué :

« À partir de ce filtre, la poussière a pu être collectée séparément, et les résultats seront donc plus représentatifs par gramme de particules de poussière. »

C'est précisément ce que TW cherche à réaliser : l'analyse des particules de poussière collectées dans le matériau filtrant, comme cela a été possible pour L'Orme au Chat, mais pas pour l'école 2 (Dulcie September) et l'école 5 (Robert Desnos).

Cette étude pilote sur les POP dans les filtres à air des écoles à l'aide d'analyses (bio)analytiques est l'une des premières du genre. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour interpréter ces résultats et tirer des conclusions spécifiques. Néanmoins, les résultats soulèvent déjà d'importantes questions de suivi (voir p. 34).



Figure 15 : Échantillonnage des filtres à air par l'équipe TW, École 1 – Guy Môquet, Ivry-sur-Seine, octobre 2024

5.3. Les résultats en matière de dioxines

La combustion incomplète des déchets et le dysfonctionnement des dispositifs de contrôle de la pollution atmosphérique (APCD) lors des arrêts et des démarrages des incinérateurs de déchets sont des conditions qui peuvent entraîner la production et le rejet involontaires de dioxines et de furanes (PCDD/F) et de polychlorobiphényles de type dioxine (dl-PCB). Des études épidémiologiques chez l'homme ont établi un lien entre l'exposition aux dioxines et une diminution des capacités de communication, des interactions sociales anormales, des comportements compulsifs répétitifs, une altération de la coordination motrice et une diminution des capacités cognitives (Guo Z. et al., 2018). Une exposition à long terme a été associée à des cancers du poumon, du larynx, de la trachée et des bronches. D'autres effets sur la santé comprennent la chloracné, la suppression du système immunitaire, des problèmes de reproduction et un risque accru de diabète de type 2.

La biosurveillance TW a déjà démontré la présence de dioxines dans les œufs de poules issues de poulaillers urbains, les mousses (bryophytes) et les sols autour de l'incinérateur de déchets IPXIII. L'Agence régionale de santé (ARS) française a ensuite confirmé les résultats dans sa propre étude sur les dioxines présentes dans les œufs de poules issues de poulaillers en région parisienne, et a conseillé aux citoyens de réduire au minimum ou d'arrêter la consommation de ces œufs. TW a toujours souligné que les œufs ne sont que des indicateurs de la pollution environnementale par les dioxines. Cette étude élargit l'approche en utilisant l'essai biologique DR CALUX sur les filtres à air des écoles.

Pour les écoles 2 et 5 (Dulcie September et Robert Desnos), le laboratoire a confirmé que les particules de poussière étaient liées au matériau filtrant, ce qui signifie que les résultats reflétaient le poids total du filtre + de la poussière. La quantité de poussière étant limitée, les valeurs peuvent sembler plus faibles. En revanche, pour L'Orme au Chat (école 3), la poussière a été séparée du filtre, ce qui a donné des résultats exprimés uniquement en grammes de poussière.

Les résultats montrent :

- PCDD/F dans la poussière du filtre à air : 1,9 - 200,0 pg TEQ/g dw.
- dl-PCB : 1,4 - 29,00 pg TEQ/g dw.
- Somme des PCDD/F/dl-PCB : 4,40 - 215 pg TEQ/g dw.

Il convient de noter en particulier le résultat pour les dioxines (PCDD/F) de 200 pg TEQ/g dw dans la poussière du filtre à air d'L'Orme au Chat, soit près de 100 fois plus que dans les filtres à air des autres écoles. Des PCB de type dioxine (dl-PCB) ont également été détectés à des niveaux élevés dans l'école 4 (Anne Sylvestre), environ 10 fois plus élevés que dans l'école 5 (Robert Desnos).

La présence d'un grand chantier de construction à proximité immédiate de cette école 4 pourrait-elle être l'une des raisons de cette teneur élevée en dl-PCB ?

Autre observation frappante : le filtre propre présentait également une activité dioxine. Les filtres à air de l'école 5 (Robert Desnos) et de l'école 2 (Dulcie September) ont été fabriqués au Mexique, un important producteur de mousse de polyuréthane. La production de polyuréthane implique l'utilisation de matières premières intrinsèquement toxiques (par exemple, les isocyanates et le phosgène) et des contaminants peuvent rester dans les produits finaux (Adetunji, C. et al (2021).

Une autre explication des niveaux plus faibles de dioxines, de HAP et de PFAS dans l'école la plus proche de l'incinérateur (Dulcie September, à 200 mètres de distance) est ce qu'on appelle « l'effet parapluie », qui fait que les dépôts de POP se font à des distances plus importantes.

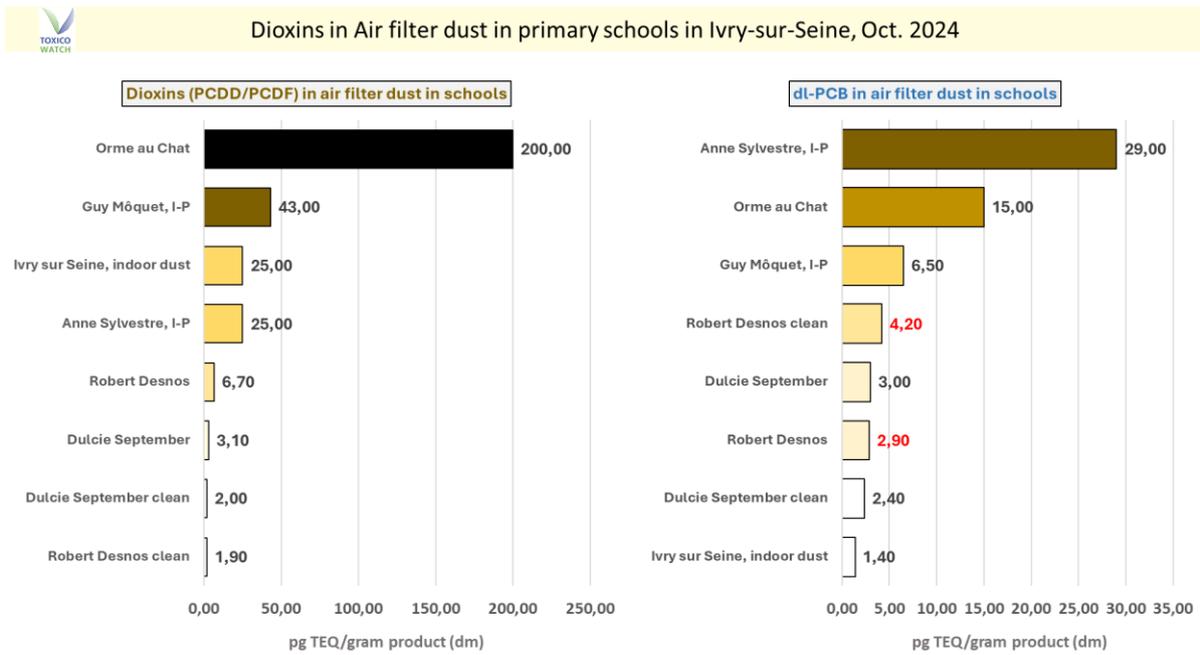


Figure 16 : Graphique des dioxines (PCDD/F et dl-PCB) dans les filtres à air des écoles d'Ivry-sur-Seine, octobre 2024

Il n'existe actuellement aucune réglementation concernant les POP tels que les dioxines dans la poussière des filtres à air. Toutefois, ces résultats doivent être considérés comme élevés par rapport à d'autres matrices, comme les dioxines présentes dans les mâchefers issues de l'incinération des déchets ou les dépôts de poussière de four à ciment sur les toits (voir figure 17). Il convient de noter que les niveaux de dioxines dans les filtres à air de quatre écoles d'Ivry-sur-Seine ont été jugés supérieurs à ceux présents dans les mâchefers des incinérateurs de déchets aux Pays-Bas (NL).

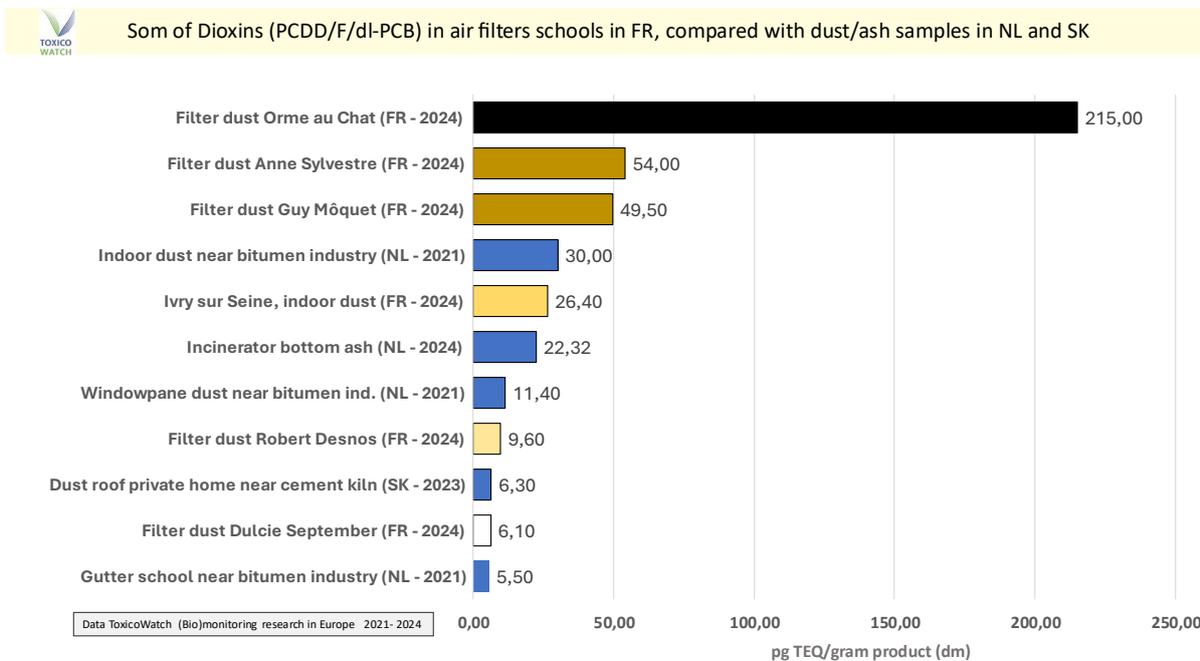


Figure 17 : Somme des dioxines (PCDD/F et dl-PCB) dans les filtres à air des écoles en France, comparée aux échantillons de poussière/cendres aux Pays-Bas et en Slovaquie

5.4. Les résultats en matière de HAP

Le deuxième groupe de POP analysés dans cette étude est celui des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). La toxicité des HAP comprend la cancérogénicité (effets cancérogènes), la mutagénicité (provoquant des mutations génétiques), la génotoxicité (dommages à l'ADN), l'altération du système immunitaire, la toxicité reproductive et les troubles neurologiques. Chez les enfants, l'exposition aux HAP peut entraîner des troubles du développement, notamment une diminution des fonctions cognitives, des changements de comportement, une baisse du QI, des troubles de l'attention, de l'anxiété et des retards de développement.

Les congénères des HAP peuvent exister sous forme gazeuse (par exemple, le naphtalène), sous forme de particules (par exemple, le benzo[a]pyrène) ou sous les deux formes (par exemple, le fluoranthène). Les HAP se trouvent dans les particules en suspension dans l'air (PM) :

- Mode ultrafine : <0,1 µg de diamètre
- Mode fine : 0,1 µg à 2,5 µg (PM_{2,5})
- Mode grossière : >2,5 µg (PM_{2,5-10}).

Les filtres à air des écoles ont été analysés à l'aide du PAH CALUX, les résultats étant exprimés en équivalent benzo[a]pyrène (B[a]P eq). Les concentrations de HAP les plus élevées ont été détectées dans les filtres à air de l'école primaire 4 (Anne Sylvestre), avec 100 000 pg d'équivalent benzo[a]pyrène par gramme. Par rapport aux analyses chimiques traditionnelles EPA-16, PAH Σ 4 et PAH Σ 16, le PAH CALUX fournit une évaluation plus réaliste de la toxicité globale liée aux HAP.

Certaines congénères HAP diffèrent considérablement en termes de toxicité : par exemple, le benzo[a]pyrène est 10 000 fois plus toxique que le phénanthrène (voir la figure 12 pour les structures moléculaires). Les niveaux de HAP mesurés dans l'école 4 (Anne Sylvestre) représentent les HAP les plus élevés détectés à ce jour dans le cadre des recherches en cours sur les essais biologiques TW (voir la figure 18 pour les données comparatives sur les HAP produites par TW).

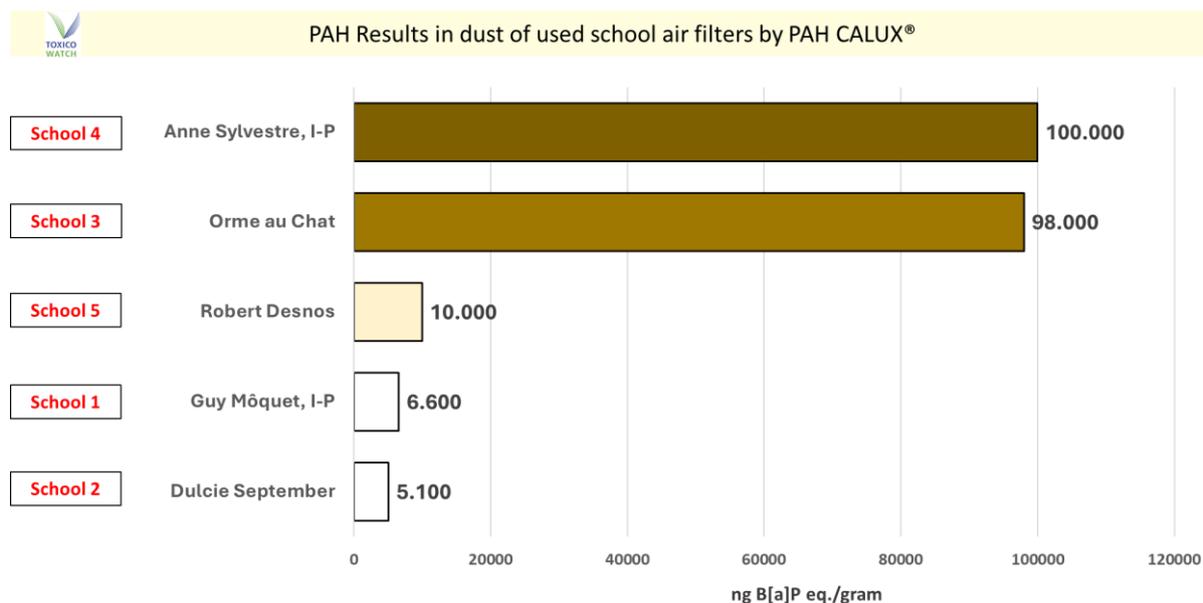


Figure 18 : Résultats des HAP dans la poussière des filtres à air usagés des écoles primaires d'Ivry-sur-Seine, octobre 2024

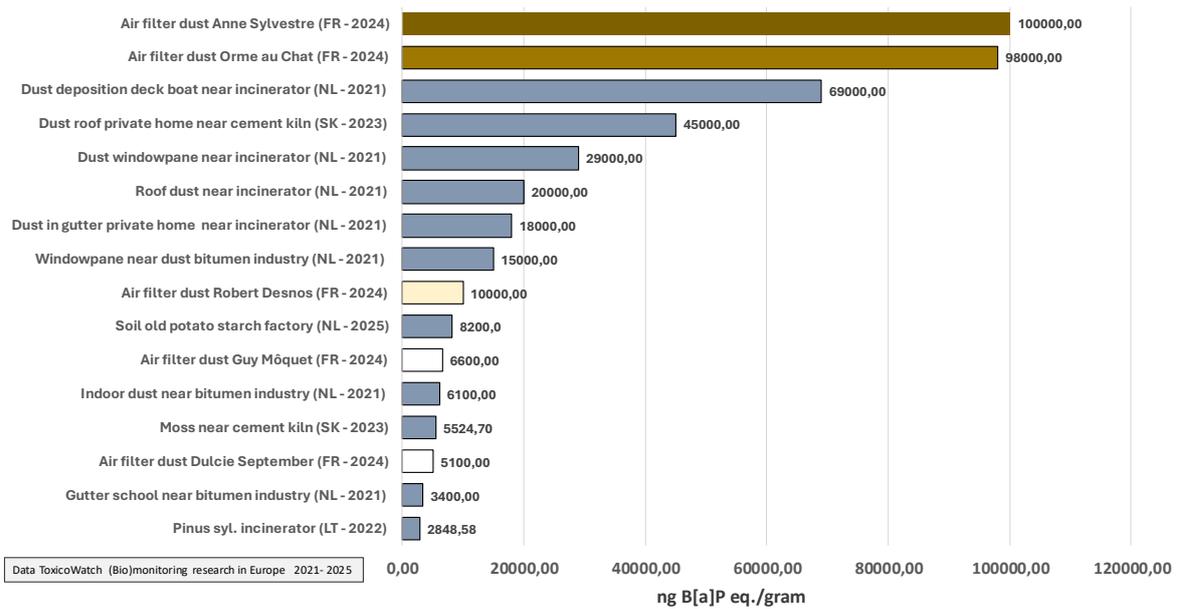


Figure 19 : HAP dans les filtres à air d'écoles primaires en France, comparés aux dépôts de HAP dans des échantillons prélevés à travers l'Europe, 2021–2025

5.5. Les résultats en matière de PFAS

Les substances per- et polyfluoroalkylées (PFAS) se présentent sous forme de vapeurs ou liées à des particules de poussière, ce qui permet leur inhalation. Les risques pour la santé comprennent une incidence accrue de certains cancers (rein et testicule), une diminution de la fonction immunitaire et de la réponse vaccinale, une élévation du taux de cholestérol, l'obésité, une altération de la fonction hépatique, des effets sur le développement des enfants et un risque accru de cancer de la thyroïde (van Gerwen M, et al (2024). Les voies d'exposition comprennent les aliments, l'eau potable, les vêtements, chaussures, matelas et meubles traités aux PFAS, certains traitements médicaux, l'inhalation d'air contaminé et l'ingestion de poussière (Go Suzuki 2020).

Les PFAS peuvent être répartis en fonction de la taille des particules :

- Ultrafines : 0,056-0,1 µm
- Fines : 0,1-1,8 µm,
- Grossières >1,8 µm,

La répartition dépend du type de composé et de facteurs environnementaux. Par exemple, les acides perfluorocarboxyliques (PFCA) sont souvent associés à des particules fines, tandis que les acides perfluoroalkylsulfoniques (PFSA) sont plus courants dans les fractions plus grossières. Le PFOA se trouve fréquemment dans les particules ultrafines et fines.

Les filtres à air sont classés selon la valeur minimale d'efficacité rapportée (MERV), la norme industrielle pour évaluer l'efficacité sur des particules de taille comprise entre 0,3 et 10 µm.

Taux de PFAS dans la poussière du filtre à air de l'école 4 : Anne Sylvestre montre une équivalence de 156 µg de PFOA par gramme de poussière sèche. Cela indique que le filtre est capable de capturer les PFAS, ce qui soulève la question de son efficacité pour différents composés PFAS. Cela démontre également qu'une quantité importante de PFAS est présente dans l'air dans cet environnement.

Le filtre à air de l'école 3 : L'Orme au Chat, a également capturé des PFAS, mais à un niveau inférieur de 33 µg d'équivalent PFOA par gramme de poids sec. Les filtres des écoles primaires 1 et 4 (Guy Môquet et Anne Sylvestre) proviennent d'autres fabricants.

Les résultats des autres écoles primaires montrent des niveaux de PFAS plus faibles, allant de 0,99 à 13,00 µg PFOA eq. /g. Cela peut s'expliquer par des systèmes de filtration de l'air moins efficaces.

Une précédente étude de biosurveillance menée par TW (2024) a également détecté des PFAS dans des échantillons de sol et de mousse (bryophytes) prélevés dans les mêmes écoles.

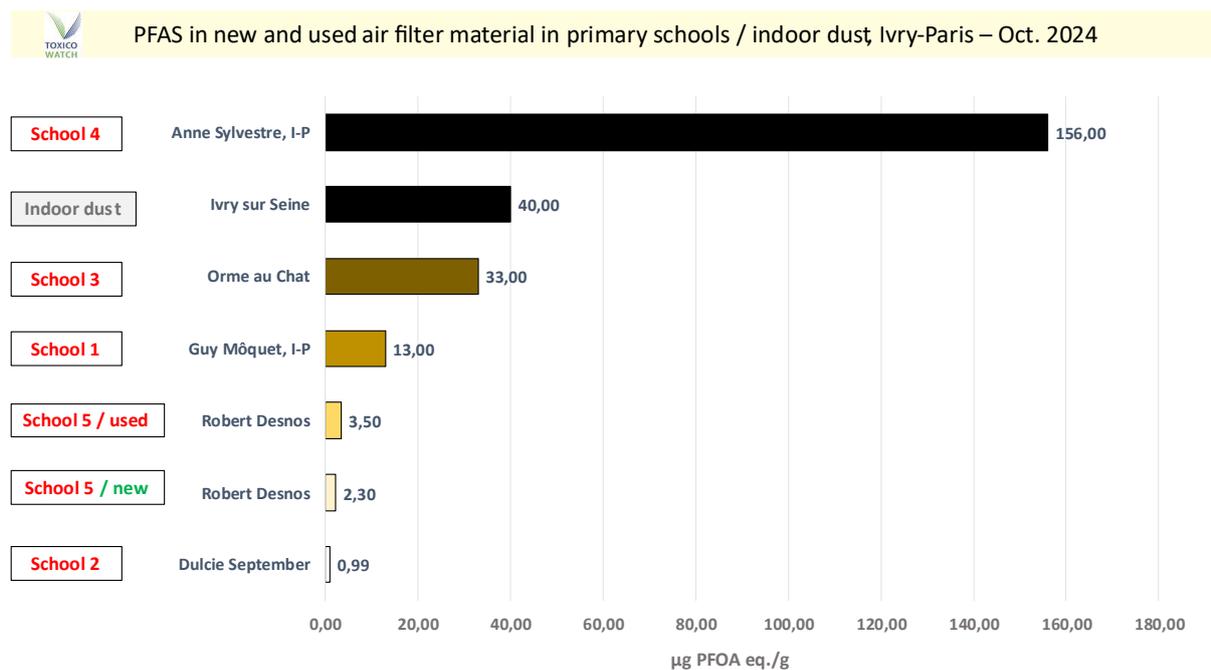


Figure 20 : Résultats PFAS dans les matériaux des filtres à air neufs et usagés des écoles primaires et dans la poussière intérieure, Ivry-sur-Seine, 2024

Les PFAS sont également largement utilisés dans les matériaux filtrants synthétiques et les textiles. Dans une étude TW sur les masques faciaux (Arkenbout, Bouman, 2022), 7 300 à 31 000 ng PFOA eq. /g ont été détectés dans les matériaux des masques à l'aide du test FITC-T4. Cela soulève la question suivante : quelle quantité de PFAS s'échappe des matériaux filtrants et pénètre dans le corps humain ? De plus, les microplastiques et les microfibrilles peuvent se détacher et être inhalés. Pour éliminer l'exposition aux PFAS, il faut mettre fin à l'autorisation de nouvelles applications des PFAS.

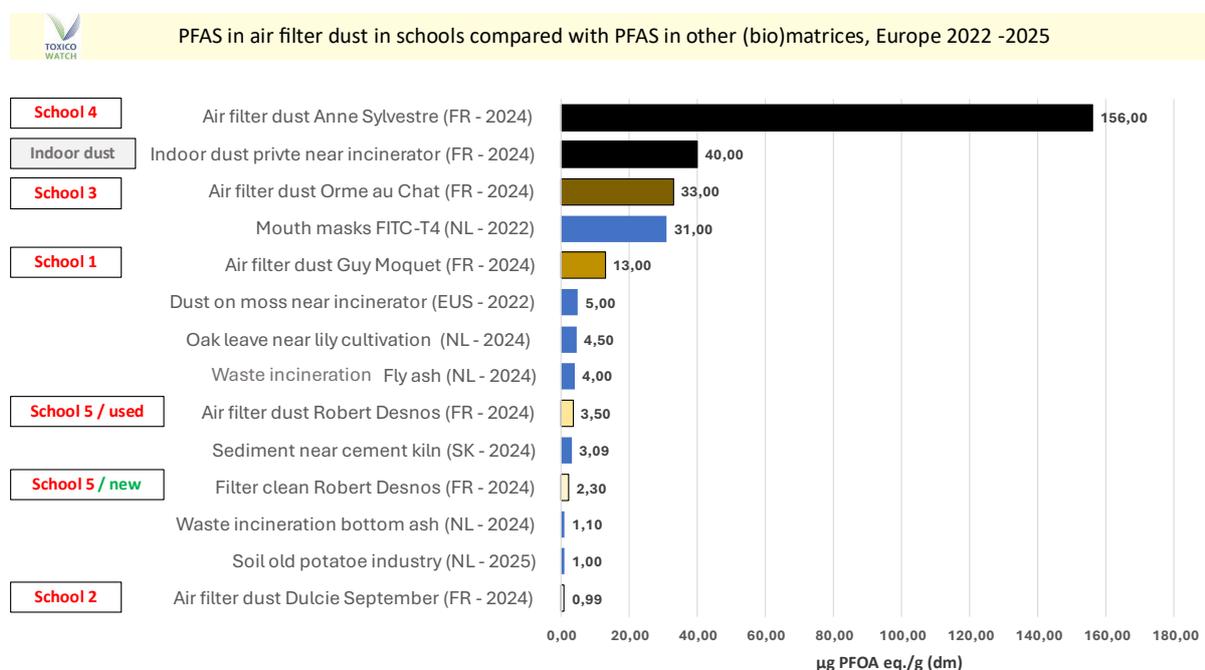


Figure 21 : PFAS dans la poussière des filtres à air des écoles d'Ivry-sur-Seine, comparés aux PFAS dans d'autres (bio)matrices, Union européenne, 2022–2025

Des PFAS ont été détectés dans des œufs de poules issues de poulaillers urbains, dans le sol (ARS 2022) et dans la mousse (Arkenbout, Bouman, 2021, 2024). La valeur PFAS la plus élevée dans la mousse a été trouvée à l'école primaire n° 6 : Port aux Lions à Charenton-le-Pont, à l'est de Paris, avec une concentration totale de PFAS de 6,45 µg PFOA eq. /kg. Les résultats sont exprimés sous forme de limite supérieure (ub) et calculés à l'aide des calculs du facteur de puissance relative (RPF) (Bil, 2021, 2023) afin d'être comparés aux résultats du PFAS CALUX (figure 21, tableau 4).

	LOWERBOUND				UPPERBOUND			
	Sum EFSA-4 (ng/gram)	Sum EFSA-4 (ng PEQ/gram)	Sum all measured PFAS (ng/gram)	Sum all measured PFAS (ng PEQ/gram)	Sum EFSA-4 (ng/gram)	Sum EFSA-4 (ng PEQ/gram)	Sum all measured PFAS (ng/gram)	Sum all measured PFAS (ng PEQ/gram)
	Σ EFSA-4(EQ)	Σ EFSA-4(RPF)	Σ total (EQ)	Σ total (RPF)	Σ EFSA-4(EQ)	Σ EFSA-4(RPF)	Σ total (EQ)	Σ total (RPF)
ss S2: Dulcie September	0,22	0,22	0,86	0,31	0,52	1,48	4,66	4,08
ss Crèche Jardin Elisabeth	0,30	0,60	1,30	0,60	0,60	1,76	3,40	4,31
ss S6: Port au Lions	0,24	0,37	1,91	4,88	0,44	1,43	5,31	6,45

	EFSA-4				dw												
	C8	C8	C9	C6	C10	C11	C11	C13	C14	C7	C8	C4	C5	C6	C7	C4	C1
	PFOS	PFOA	PFNA	PFHxS	PFDA	PFUnDA	PFDoA	PFTeDA	PFTeDA	PFHpS	6:2FTS	PFBA	PFPeA	PFHxA	PFHpA	PFBS	PFiA
ve Potentie Factor (REP):	2,00	1,00	10,00	0,60	10,00	4,00	3,00	3,00	0,30	2,00		0,05	0,05	0,10	1,00	0,00	2,4
S2: Dulcie September	<0.1	0,22	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0,26	<0.1	0,18	<2.0	0,2	<0.1	<0.1	<0.1	<0
Crèche Jardin Elisabeth	0,3	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1,00	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0
S6: Port au Lions	0,13	0,11	<0.1	<0.1	0,21	0,15	0,40	0,14	0,6	<0.1	<0.1	<2.0	0,17	<0.1	<0.1	<0.1	<0

Tableau 3 : PFAS dans des mousses (*bryophytes*) dans des écoles et des crèches, Ivry-sur-Seine, octobre 2024.

5.6 Les résultats concernant la poussière intérieure

Les habitants d'Ivry-sur-Seine ont exprimé leurs inquiétudes concernant la présence de poussière sur les châssis de fenêtres, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur des propriétés résidentielles. L'échantillon de poussière intérieure analysé dans le cadre de cette étude a été prélevé sur les châssis de fenêtres intérieurs d'un appartement situé au dernier étage d'un immeuble, à 700 mètres au sud-est de l'incinérateur IPXIII.



Figure 2 : Emplacement de la poussière intérieure à un domicile privé, Ivry-sur-Seine - octobre 2024

Les conclusions de l'étude sur les POP dans les environnements intérieurs sont dignes d'intérêt. Les dioxines et les PFAS présentait tous deux des niveaux élevés de contamination. La **concentration en dioxines pour la somme des dioxines (PCDD/F/dl-PCB) était de 26,40 pg TEQ/g de produit**, tandis que la **concentration en PFAS était de 40,0 µg PFOA eq. /g dw**. Comme le montrent les figures 17 et 19, ces valeurs se classent parmi les résultats les plus élevés.

TW-REF-NR	Sample	DR CALUX			PFAS CALUX
		Results ub (pg TEQ/g dm)			
		PCDD/PCDF	dl-PCBs	PCDD/F/dl-PCB	ug PFOA eq./gram dm
24TWPA-DH-ID	Indoor dust	25,00	1,40	26,40	40,00

Tableau 4 : Les résultats en matière de dioxines (PCDD/F et dl-PCB) avec DR CALUX et PFAS avec PFAS CALUX dans la poussière d'intérieur, à 700 m de l'incinérateur de déchets IPXIII, octobre 2024.

La poussière intérieure est reconnue comme une voie d'exposition à de multiples polluants. Les enfants, en particulier les nourrissons et les tout-petits, sont plus exposés car ils passent la plupart de leur temps à l'intérieur, où leur exposition dépasse souvent celle d'autres voies d'exposition. Parmi les sources de contamination de la poussière intérieure on trouve des objets ménagers tels que des tapis, des textiles, des produits de polissage du bois, des adhésifs pour parquet, les plastiques, les matériaux de plafond et les appareils électroniques. Cependant, des sources externes, telles que les émissions des incinérateurs de déchets, peuvent également contribuer de manière significative. Par exemple, des niveaux élevés de dioxines et de dl-PCB ont été détectés dans la poussière des vitres (Suzuki 2018).

5.6. Les résultats en matière de métaux lourds

Les métaux lourds tels que le plomb, le mercure, le cadmium et l'arsenic sont associés à des problèmes de développement, en particulier à des troubles neurodéveloppementaux tels que les troubles du spectre autistique (TSA) et le TDAH. Ils peuvent nuire au développement cognitif, moteur, linguistique et comportemental. L'exposition pendant la période prénatale et la petite enfance est particulièrement nocive, car elle perturbe le développement du cerveau par le biais de mécanismes tels que le stress oxydatif et les dommages mitochondriaux.

Il n'existe pas de niveau sûr d'exposition aux particules (PM) ni de limites sûres pour les métaux lourds dans la poussière atmosphérique. Les preuves à long terme de l'exposition aux métaux lourds montrent des effets mesurables sur le développement cognitif des enfants.

La quantité limitée de poussière collectée a restreint la portée de l'analyse des métaux lourds. Une masse minimale d'échantillon est nécessaire pour de tels tests, et la poussière provenant des filtres à air était insuffisante. Il s'ensuit que seuls cinq métaux lourds ont été analysés dans l'échantillon de poussière prélevé à Dulcie September. Une comparaison avec des échantillons de mousse prélevés au Cimetière parisien d'Ivry-sur-Seine a montré des concentrations de métaux lourds similaires à celles de l'échantillon de poussière prélevé à Dulcie September. Cela soulève des questions quant à l'efficacité des processus actuels de filtration des métaux lourds dans ces filtres à air, en raison des concentrations plus élevées de métaux lourds trouvées dans les mousses collectées par l'équipe TW dans la cour de l'école en 2024.

Filterdust Dulcie September		
mg/kg dw		
As	Arsenic	0.28
Cd	Cadmium	0.09
Hg	Mercury	0.02
Ni	Nickel	1.50
Pb	Lead	7.40

Tableau 2: Les résultats en matière de métaux lourds (As, Cd, Hg, Ni, Pb) dans un échantillon de filtre à air de l'école primaire 2 – Dulcie September, octobre 2024.

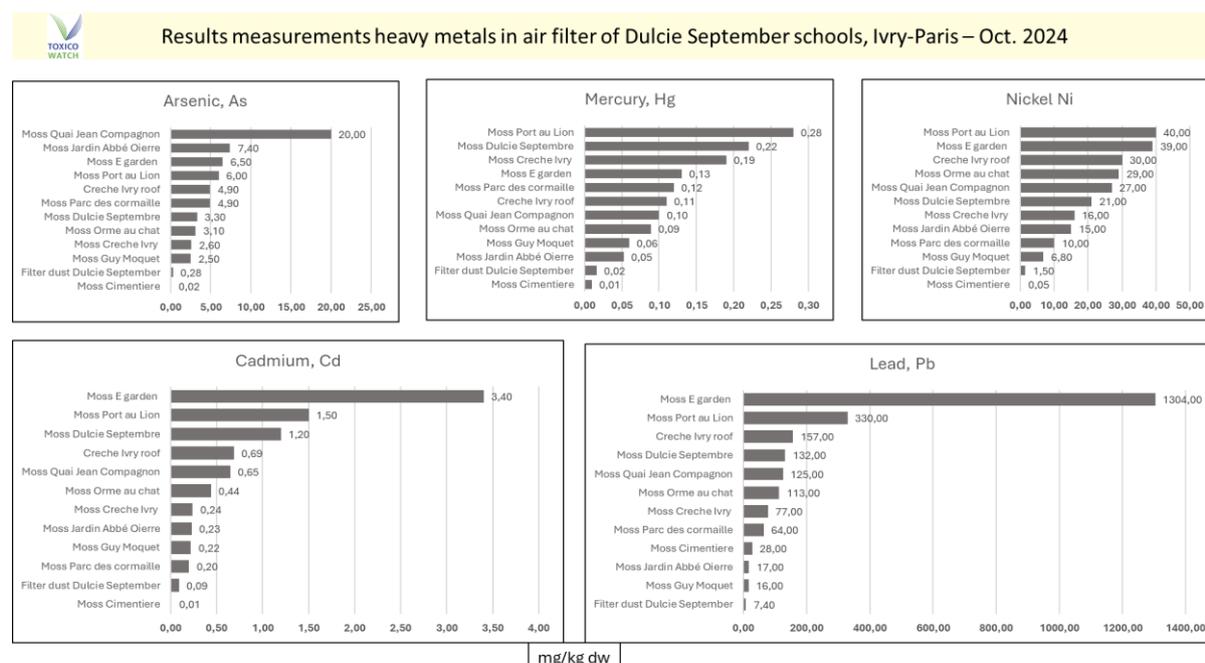


Figure 23 : Résultats des mesures des métaux lourds (As, Cd, Hg, Ni, Pb) dans la poussière des filtres à air de l'école – Dulcie September, Ivry-sur-Seine, octobre 2024

6. Le matériau filtrant et les CVC

Les filtres à air des écoles Robert Desnos et Guy Môquet sont fabriqués au Mexique à partir de mousse de polyuréthane (PUF). Le PUF est largement utilisé dans les systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation (CVC). Si les systèmes CVC bien entretenus peuvent améliorer la qualité de l'air intérieur en filtrant les polluants, les systèmes mal entretenus peuvent devenir eux-mêmes des sources de pollution, en faisant circuler des contaminants à travers des conduits et des filtres sales. **Pour maintenir une bonne qualité de l'air intérieur, il est essentiel d'effectuer un entretien régulier, en nettoyant ou en remplaçant les filtres, en nettoyant les conduits et en assurant une ventilation adéquate.**

Les systèmes CVC peuvent introduire des POP à l'intérieur en aspirant l'air extérieur contaminé et peuvent également les accumuler et les redistribuer via les filtres. Les risques augmentent lorsque la ventilation est insuffisante ou que les systèmes sont inactifs.

Les PFAS sont présents dans les systèmes CVC principalement par le biais de réfrigérants synthétiques, tels que les HFO, et de composants tels que les joints toriques et les revêtements de fils. Bien qu'appréciés pour leur résistance à la chaleur, de nombreux PFAS sont des « produits chimiques éternels » en raison de leur persistance dans l'environnement. Certains réfrigérants se dégradent en substances nocives telles que l'acide trifluoroacétique (TFA), qui contamine la nappe phréatique. Ces préoccupations sont à l'origine de réglementations et de recherches sur des alternatives sans PFAS. Le nombre et les types de PFAS présents dans les systèmes CVC des écoles en France restent inconnus. HEPA (High Efficiency Particulate Air) est une norme de certification pour la performance des filtres à air. Un filtre HEPA est défini comme un filtre qui capture au moins 99,97 % des particules jusqu'à 0,3 micron. Les PFAS sont extrêmement petits et se présentent sous forme de particules (PM) de tailles très variées : particules ultrafines (0,056-0,1 µm), fines (0,1-1,8 µm) et grossières (>1,8 µm). La distribution granulométrique varie en fonction du composé PFAS spécifique et des facteurs environnementaux. Selon les données de la filière, les filtres ULPA ont une efficacité d'élimination de 99,999 % pour les particules d'un diamètre de 0,12 micron et plus. Les filtres grossiers et fins ont des efficacités beaucoup plus faibles, respectivement d'environ 10,85 % et 76,87 % pour les particules ultrafines.

Les filtres HEPA seuls n'éliminent pas les dioxines de manière très régulière, car celles-ci sont principalement gazeuses. Si les dioxines liées aux particules peuvent être capturées, les formes volatiles nécessitent des filtres à charbon actif. Les systèmes combinés HEPA-charbon peuvent atteindre un taux d'élimination de 78 à 90 %, selon le composé de dioxine et la configuration.

Des organisations telles qu'Eurovent et NSF testent et certifient l'efficacité des filtres de manière indépendante. En outre, les fabricants et les laboratoires spécialisés effectuent leurs propres tests pour mesurer les performances des filtres, souvent en utilisant des normes telles que la norme ISO 5011 pour les filtres à air.

La norme ISO 5011 est une norme de l'Organisation internationale de normalisation (ISO) qui établit des procédures et des conditions d'essai uniformes pour évaluer les performances des équipements de purification de l'air entrant, tels que les filtres à air, pour les moteurs à combustion interne et les compresseurs. Elle explique la méthode pour mesurer des caractéristiques importantes telles que la restriction du débit d'air (chute de pression), l'efficacité de la collecte des poussières et la capacité de rétention des poussières.

L'analyse des substances perfluoroalkylées (PFAS) est difficile en raison des limites techniques dans le domaine de la chimie analytique. L'analyse des POP, y compris les dioxines, en laboratoire est difficile en raison de leur toxicité.

7. Questions

Les résultats de cette étude fournissent une indication de l'apport de POP via les filtres à air. La présence d'une quantité importante de poussière dans les filtres peut suggérer un fonctionnement efficace. À l'inverse, la détection de faibles quantités de poussière indique-t-elle que les filtres ne fonctionnent pas correctement ? De plus, une accumulation excessive de poussière pourrait-elle signaler que le filtre a atteint son point de saturation, ce qui pourrait le transformer en une source potentielle d'émissions de POP ?

Afin d'interpréter les résultats avec la plus grande précision possible, il est essentiel de clarifier les questions et points d'attention suivants, qui devraient être abordés dans des études complémentaires :

1. Quelle est l'efficacité des filtres à air en matière d'élimination des POP présents dans l'air extérieur entrant ?
2. Comment évaluer le degré de saturation du matériau des filtres à air pour les POP (tels que les dioxines, les HAP, les PFAS et les HM) ? Quelles normes et procédures sont appliquées ?
3. Quel rapport entre l'efficacité d'élimination et la saturation en poussière ?
4. Quelle efficacité des filtres pour piéger les POP gazeux ?
5. Quelles sont les limites des types de filtres à air actuellement utilisés dans les écoles pour capturer les particules ultrafines ?
6. Le matériau filtrant standard est-il suffisant ou faut-il utiliser du charbon actif pour éliminer les dioxines volatiles et gazeuses ?
7. Des procédures de sécurité sont-elles en place pour les techniciens scolaires qui remplacent les matériaux filtrants usagés, compte tenu des risques d'inhalation, d'ingestion ou d'exposition cutanée à la poussière contaminée ? TW n'a observé aucune précaution particulière malgré les niveaux de toxicité élevés constatés dans la poussière des filtres dans cette étude.
8. Étant donné que de nombreux composants essentiels des systèmes de filtration sont produits dans des pays tels que la Chine, le Vietnam et le Mexique, où les processus de production impliquent déjà des substances dangereuses, ces matériaux filtrants sont-ils sûrs ou pourraient-ils eux-mêmes émettre des POP ? Qu'en est-il des POP détectés dans les matériaux filtrants neufs et inutilisés ? Dans quelle mesure les POP sont-ils intégrés dans les systèmes CVC, en particulier avec les variations saisonnières de fonctionnement ?
9. Les systèmes CVC contribuent-ils à la recirculation des POP à l'intérieur ?
10. Les filtres à air pourraient-ils eux-mêmes être une source de PFAS ou d'autres POP dans le système de ventilation ?
11. Les filtres sont-ils remplacés suffisamment souvent ? Des facteurs tels que le coût, les qualifications du personnel ou les contraintes de temps ont-ils une incidence sur les cycles de remplacement ?
12. Les données de la filière remettent en question l'efficacité de l'élimination des PFAS. Les filtres sont-ils vraiment capables d'éliminer les particules ultrafines et la phase vapeur des PFAS ?
13. La faible concentration en métaux lourds dans la poussière des filtres de l'école Dulcie September correspondait à celle des échantillons de mousse prélevés dans le Cimetière parisien d'Ivry-sur-Seine. Cela remet-il en question l'efficacité des processus de filtration des métaux lourds ?

Pour bien évaluer la performance des filtres, il est essentiel de mesurer la qualité de l'air intérieur dans les salles de classe. C'est seulement ainsi qu'il sera possible de déterminer si les filtres offrent une protection suffisante pour la santé des enfants, du personnel et des parents dans les bâtiments scolaires.

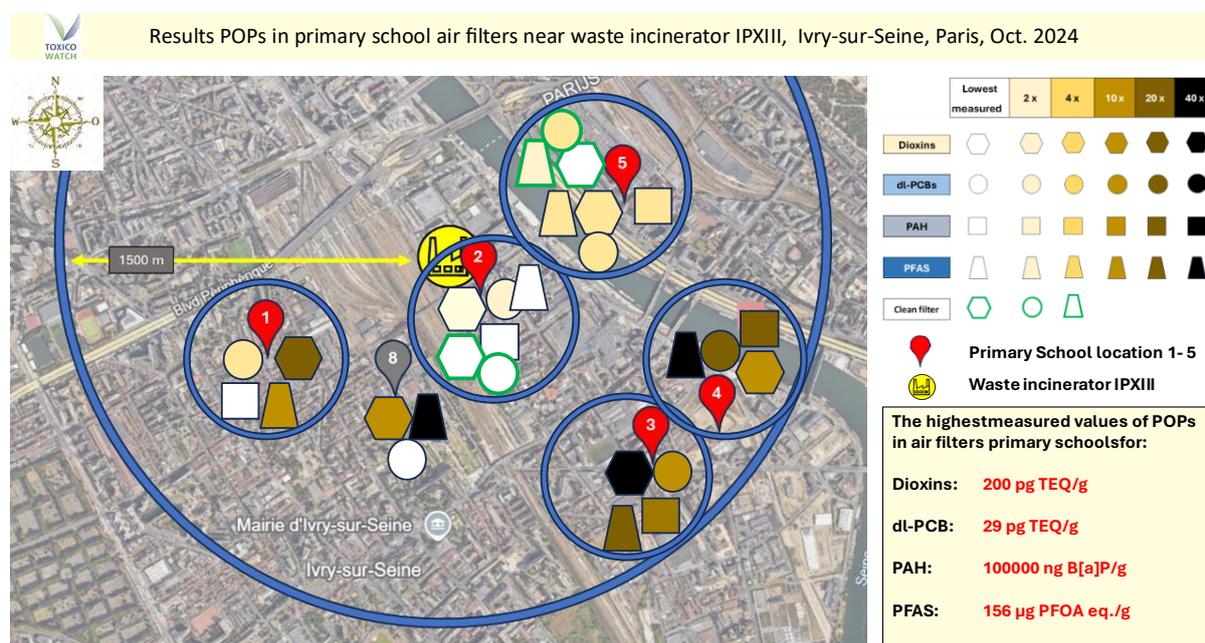
8. Conclusion

Cette étude TW étudie la présence de POP dans les filtres à air extérieur de cinq (5) écoles primaires situées à moins de 1 500 m de l'incinérateur de déchets Ivry-Paris XIII (IPXIII), à Ivry-sur-Seine, au sud-est de Paris. Elle s'appuie sur des études TW précédentes (2021-2024) menées autour de l'IPXIII, dans le but d'approfondir les connaissances sur la contamination par les POP dans l'environnement proche de l'incinérateur de déchets Ivry-Paris XIII.

L'analyse des matériaux des filtres à air des écoles et de la poussière intérieure montre que :

- Les **dioxines** sont présentes dans tous les matériaux filtrants/poussières, avec des concentrations de PCDD/F comprises entre **1,9 et 200,0 pg TEQ/gramme de poids sec**.
- Les PCB de type dioxine (**dl-PCB**) présents dans les filtres à air des écoles varient entre **1,4 et 29,00 pg TEQ/g de poids sec**.
- Les **HAP** présents dans les filtres à air de l'école 4 : Anne Sylvestre ont atteint **100 000 pg d'équivalents benzo[a]pyrène par gramme**.
- Les **PFAS** présents dans la poussière des **filtres à air** de l'école 4 : Anne Sylvestre ont été mesurés à **156 µg d'équivalents PFOA par gramme de dm**.
- La **poussière intérieure** contenait **26,40 pg TEQ/g de dioxines** et **40,0 µg PFOA eq. /g dw de PFAS**

Il convient de noter que les niveaux de dioxines dans les filtres à air de quatre écoles d'Ivry-sur-Seine ont été jugés supérieurs aux niveaux de dioxines dans les mâchefers des incinérateurs de déchets aux Pays-Bas (NL). Cette étude est l'une des premières portant sur les POP dans les matériaux des filtres à air d'écoles primaires utilisant des méthodes d'essai biologique. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour interpréter ces résultats et tirer des conclusions solides. Néanmoins, les résultats soulèvent de nombreuses questions sur l'efficacité des filtres concernant les dioxines, les HAP, les PFAS et en particulier les particules gazeuses et ultrafines (UFP, particules - PM_{0,1}) contenant ces POP.



L'étude TW démontre clairement que les POP sont présents dans l'environnement, ce qui montre que le problème va bien au-delà de la question précédemment soulignée des « œufs de poules issues de poulaillers ». Il est donc essentiel que les systèmes de filtration atténuent efficacement ces substances. Des mesures directes en classe sont désormais nécessaires pour déterminer si les POP sont réellement éliminés et si les systèmes de filtration actuels répondent aux normes requises pour protéger la santé des enfants, du personnel et des parents. D'autant plus que les écoles sont situées à proximité immédiate de l'incinérateur de déchets d'Ivry-Paris XIII.

Pour mettre en perspective ces concentrations, les niveaux de dioxines détectés se situent déjà dans une fourchette considérée comme nocive, même à l'état de traces, tandis que les PFAS présents dans la poussière dépassaient de plusieurs dizaines de milliers de fois les seuils de sécurité fixés par l'UE pour l'eau potable. La présence de HAP à des niveaux comparables à ceux observés lors d'une exposition passive à la fumée de cigarette illustre le risque potentiel lié à l'inhalation quotidienne dans ces environnements. Ces résultats soulignent l'urgence de mettre en place des mesures de protection dans les écoles, où les enfants sont particulièrement vulnérables.

Pour mieux comprendre les données sur les POP en un coup d'œil

1. Dioxines

- Les concentrations mesurées : 1,9 – 200,0 pg TEQ/g dans les filtres/la poussière des écoles.

Les dioxines sont très toxiques, au point que les agences de santé affirment qu'il n'existe aucun niveau d'exposition sans danger. Même à quelques picogrammes par gramme (que l'on peut comparer à une seule goutte d'encre dans une piscine olympique), elles sont dangereuses pour la santé humaine et pour l'environnement.

2. PCB de type dioxine (dl-PCB)

- Les concentrations mesurées : 1,4 – 29,00 pg TEQ/g dans les filtres des écoles)

Alors que les PCB ont été interdits il y a plusieurs décennies, ils continuent de polluer l'environnement et d'y entrer par le biais notamment des incinérateurs de déchets.

3. HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques)

- Les concentrations mesurées : jusqu'à 100 000 pg d'équivalents benzo[a]pyrène par gramme (à l'école Anne Sylvestre).

Le benzo[a]pyrène est un composé cancérigène également présent dans la fumée de cigarette.

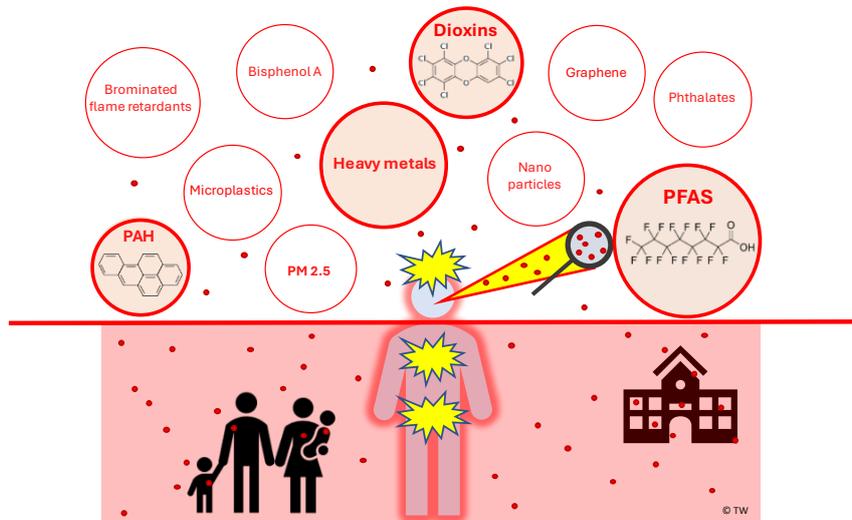
4. PFAS (des « produits chimiques éternels ») (dont les PFOA)

- Les concentrations mesurées :
 - 156 µg d'équivalent PFOA/g dans la poussière des filtres à air (école Anne Sylvestre).
 - 40 µg d'équivalent PFOA/g dans la poussière intérieure.

La nouvelle limite européenne pour les PFOA dans l'eau potable est de 0,004 µg par litre. Les mesures actuelles sont de dizaines de milliers au-dessus de ce seuil.

L'impact des POP sur les enfants

- Les enfants sont particulièrement vulnérables car ils respirent plus d'air par rapport à leur poids corporel que les adultes. Parmi les impacts avérés sur la santé, on trouve :
 - Le cancer
 - Des systèmes immunitaires endommagés
 - Des troubles de l'apprentissage et du développement
 - Des perturbations hormonales
- La détection de POP dans les écoles soulève des inquiétudes quant à la sécurité de l'environnement quotidien des enfants, soulignant la nécessité urgente de garantir des conditions non nocives, en particulier pour les groupes les plus vulnérables de la société.



PFAS part of a toxic load of contamination of human, environmental exposure
Effecting the human Brain, Hart & Reproduction system

Références :

Adetunji, C. et al (2021). Environmental Impact of Polyurethane Chemistry. 10.1021/bk-2021-1380.ch014.

Arkenbout A., Bouman KJAM. (2021). Biomonitoring research Paris, France. ToxicoWatch Foundation, December 2021, Publication number : 2021-P04

Arkenbout A., Bouman KJAM. (2022). Face masks and the shutdown of brain, heart, and reproduction system. ToxicoWatch Foundation, November 2022, Publication number : 2022-11-FM

Bil W, et al. (2021). Risk Assessment of Per- and Polyfluoroalkyl Substance Mixtures : A Relative Potency Factor Approach. Environmental Toxicology and Chemistry, 40 (3), 859-870.

Bil W, et al. (2023). Internal relative potency factors based on immunotoxicity for the risk assessment of mixtures of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in human biomonitoring. Environment International, 171, 107727.

Guo,SZ. et al. (2018). Dioxins as potential risk factors for autism spectrum disorder, Environment International, Volume 121, Part 1, Pages 906-915, ISSN 0160-4120, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.10.028>.

Leng, L. et al. (2014). 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-dioxin exposure and prostate cancer : a meta-analysis of cohort studies, Public Health, Volume 128, Issue 3, Pages 207-213, ISSN 0033-3506, <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2013.10.006>.

Maya E. Morales-McDevitt, Jitka Becanova, Arlene Blum, Thomas A. Bruton, Simon Vojta, Melissa Woodward, and Rainer Lohmann. The Air That We Breathe : Neutral and Volatile PFAS in Indoor Air Environmental Science & Technology Letters 2021 8 (10), 897-902
DOI : 10.1021/acs.estlett.1c00481

Pieterse, Bart & Felzel, Emiel & Winter, Roos & van der Burg, Bart & Brouwer, Abraham. (2013). PAH-CALUX, an Optimized Bioassay for AhR-Mediated Hazard Identification of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) as Individual Compounds and in Complex Mixture

Suzuki, Go & Tue, Nguyen & Takahashi, Shin & Tajima, Yuko & Sakai, Shin-ichi & Takigami, Hidetaka. (2014). Effect-based Hazard Identification of House Dust by In Vitro Assays Detecting Dioxin-like Compounds, Thyroid and Reproductive Toxicants. Current Organic Chemistry. 18. 10.2174/1385272819666140804231453.

van Gerwen M, et al (2024). Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) exposure and thyroid cancer risk. EBioMedicine. 2023 Nov; 97 :104831. doi : 10.1016/j.ebiom.2023.104831. Epub 2023 Oct 24. PMID : 37884429; PMCID : PMC10667111

Table des figures :

Figure 1 : Les anciennes et nouvelles cheminées de l'incinérateur IPXIII, Paris (15 octobre 2024)	11
Figure 2 : Les lieux d'échantillonnage : cinq filtres à air d'écoles primaires et un échantillon de poussière intérieure provenant d'une maison privée, octobre 2024	12
Figure 3. La carte générale des crèches et écoles primaires situées dans un rayon de 1 500 m autour de l'incinérateur IPXIII	13
Figure 4 : L'échantillonnage des filtres à air par un technicien avec l'équipe TW à l'école 4 (Anne Sylvestre), 16 octobre 2024.....	14
Figure 5. L'échantillonnage de matériaux de filtres à air à l'école primaire 1 (Guy Môquet), 16 octobre 2024	16
Figure 6 : Des échantillons de matériaux de filtres à air provenant de l'école primaire 2 – Dulcie September, octobre 2024	17
Figure 7 : La collecte d'échantillons de matériaux de filtres à air à l'école primaire 3 (L'Orme au Chat), octobre 2024	18
Figure 8 : La collecte d'échantillons de matériaux de filtres à air à l'école primaire 4 (Anne Sylvestre), octobre 2024	Erreur ! Signet non défini.
Figure 9 : La collecte d'échantillons à l'école primaire 5 : Robert Desnos, octobre 2024	20
Figure 10 : L'emplacement de l'échantillon de poussière intérieure, à 700 m de l'incinérateur de déchets IPXIII, octobre 2024	21
Figure 11 : Un aperçu des 29 analyses chimiques spécifiques aux congénères de dioxines par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS)	22
Figure 12 : Les analyses chimiques de 16 congénères d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	23
Figure 13 : Analyses chimiques limitées des PFAS par rapport aux analyses (bio)analytiques (FITC-T4® et PFAS CALUX®).....	24
Figure 14 : Carte des résultats des POP dans les filtres à air d'écoles primaires situées à proximité de l'incinérateur de déchets IPXIII, Ivry-sur-Seine, octobre 2024.....	26
Figure 15 : Échantillonnage des filtres à air par l'équipe TW, École 1 – Guy Môquet, Ivry-sur-Seine, octobre 2024.....	28
Figure 16 : Graphique des dioxines (PCDD/F et dl-PCB) dans les filtres à air des écoles d'Ivry-sur-Seine, octobre 2024.....	30
Figure 17 : Somme des dioxines (PCDD/F et dl-PCB) dans les filtres à air des écoles en France, comparée aux échantillons de poussière/cendres aux Pays-Bas et en Slovaquie.	30
Figure 18 : Résultats des HAP dans la poussière des filtres à air usagés des écoles primaires d'Ivry-sur-Seine, octobre 2024.	31
Figure 19 : HAP dans les filtres à air d'écoles primaires en France, comparés aux dépôts de HAP dans des échantillons prélevés à travers l'Europe, 2021–2025.	32
Figure 20 : Résultats PFAS dans les matériaux des filtres à air neufs et usagés des écoles primaires et dans la poussière intérieure, Ivry-sur-Seine, 2024.	33
Figure 21 : PFAS dans la poussière des filtres à air des écoles d'Ivry-sur-Seine, comparés aux PFAS dans d'autres (bio)matrices, Union européenne, 2022–2025.	34
Figure 22 : Emplacement de la poussière intérieure dans un domicile privé, Ivry-sur-Seine - octobre 2024.	35
Figure 23 : Résultats des mesures des métaux lourds (As, Cd, Hg, Ni, Pb) dans la poussière des filtres à air de l'école 2 – Dulcie September, Ivry-sur-Seine, octobre 2024.....	36

Annexe 1 :

Réglementation relative à la filtration de l'air

France : La réglementation relative aux filtres à air dans les bâtiments publics en France est basée sur les normes européennes EN 13053, EN 13779 et EN 16798-3, qui fixent les exigences de performance et de durabilité des filtres, ainsi que l'efficacité minimale de l'alimentation en air. Une réglementation plus stricte introduite en 2023 impose des évaluations annuelles des systèmes de ventilation et des mesures de la qualité de l'air intérieur, en particulier dans les établissements accueillant des jeunes, afin d'améliorer la qualité de l'air. EN 13053 (concerne la ventilation des bâtiments) : cette norme définit l'efficacité minimale requise pour l'air filtré (par exemple, ePM1 50 % selon la norme ISO16890) et les pertes de charge admissibles pour les filtres. EN 13779 (pour les systèmes de ventilation et de climatisation non résidentiels) : cette norme impose des exigences de performance en matière de filtration et de durée de vie maximale des filtres. EN 16798-3 (exigences en matière de filtration pour les bâtiments) : cette norme spécifie les solutions de filtration adaptées aux bâtiments et est considérée comme une bonne pratique pour les bâtiments commerciaux et industriels.

Pays-Bas : Aux Pays-Bas, il n'existe pas de réglementation spécifique exigeant l'installation de filtres à air dans les bâtiments publics, mais le décret sur les conditions de travail (Arbobesluit) exige un environnement de travail sain avec un air suffisamment propre et non contaminé. La manière dont cela sera contrôlé ou mesuré n'est pas mentionnée. Les systèmes de ventilation doivent fonctionner correctement, être prêts à l'emploi et pouvoir signaler les dysfonctionnements. Les exigences spécifiques en matière de ventilation, telles que la quantité d'air frais requise et la vitesse maximale de l'air, varient selon le type de bâtiment et d'espace, et sont réglementées par le décret sur la construction et le décret sur les exigences en matière d'émissions pour les robinets partiels et l'installation de ces systèmes. L'installation de filtres n'est pas directement obligatoire, mais les installations doivent purifier l'air et le maintenir exempt de poussière. Les règles exactes varient en fonction du bâtiment et de sa fonction. Pour les écoles, il existe une exigence minimale de ventilation, d'au moins 40 à 50 m³/heure par personne ou 3,44 m³/heure par m² de surface au sol.

Le décret sur la construction contient des informations sur les exigences en matière de ventilation, notamment un minimum de 6,5 L/s pour un espace de bureau (ce qui équivaut à 23,4 m³/h). Il existe également une vitesse maximale de l'air dans la zone d'habitation afin d'éviter les courants d'air. Conformément à la norme NEN 1087, celle-ci ne doit pas dépasser 0,2 m/s afin d'éviter toute nuisance due aux courants d'air.

Annexe 2 : Résultats de laboratoire

Rapport : Les PFAS, Dioxines et HAP dans les filtres à air d'écoles primaires à Ivry-sur-Seine, 2024 – 2025, 13 septembre 2025



Rapport sur les analyses de laboratoire

Les filtres à air d'écoles primaires à Ivry-sur-Seine and Charenton-le-Pont,
2024 - 2025

Les filtres à air d'écoles primaires - 2025 :

- Dioxines (DR CALUX)
- HAP (PAH CALUX)
- PFAS (PFAS CALUX)
- Métaux lourds (ICP-MS)

Les mousses (Bryophyta) - 2024 :

- PFAS (LC-MS/MS)