



Etudes TW de Biosurveillance des Polluants Organiques Persistants (POPs) autour de l'incinérateur de déchets IPXIII Ivry-sur-Seine, Paris 2025

Rapport intermédiaire

Biomonitoring, Ivry-sur-Seine, Paris, October 16-19th, 2024

Dioxins **PFAS** **PAH** **Heavy metals**

Within 1 km in the surrounding environment of Waste incinerator IPXIII burning 700.000 tonnes of waste/year

- Evergreen tree leaves
- Pine needles
- Fruit
- Mosses (*Bryophyta*)
- Soil
- Filter Dust Schools



Etudes TW de Biosurveillance des Polluants Organiques Persistants (POPs) autour de l'incinérateur de déchets IPXIII Ivry-sur-Seine, Paris 2025

Rapport intermédiaire

Remerciements à Zero Waste Europe pour son soutien à cette étude sur les Polluants Organiques Persistants (POPs).



Nous remercions tout particulièrement le Collectif 3R (Réduire, Réutiliser, Recycler) pour son soutien à cette étude, ainsi que pour son aide dans la collecte d'échantillons et l'organisation de réunions publiques et avec l'ARS



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

HARLINGEN, PAYS-BAS, FONDATION TOXICOWATCH, mars 2025
NUMÉRO DE PUBLICATION : 2025-TWS-PA-01

Avis de non-responsabilité :

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

Copyright © 2025 TOXICOWATCH

Cette publication contient du matériel écrit et produit pour une diffusion publique. Tout ou partie de cette publication peut être librement copiée et diffusée, pour une utilisation non commerciale, à condition que les copies soient référencées par le titre, l'auteur et le nom de la Fondation ToxicoWatch.

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

Les photographies ont été réalisées par l'équipe Toxicowatch et les membres du Collectif 3R (*Réduire, Réutiliser, Recycler*).

www.toxicowatch.org

Abréviations

Abréviation en anglais	Signification en anglais	Signification en français	Abréviation en français
BAT	Best Available Techniques	<i>Meilleures Techniques Disponibles</i>	MTD
BEP	Best Environmental Practice	<i>Meilleure Pratique Environnementale</i>	MPE
BEQ	Biological Equivalents	<i>Bioéquivalence</i>	
dl-PCB	Dioxin-Like Polychlorinated Biphenyls	<i>PCB « dioxin-like » (PolyChloroBiphényles)</i>	
DR CALUX®	Dioxin Responsive Chemical-Activated Luciferase gene eXpression	<i>Test d'activité biologique des dioxines</i>	
dw	Dry Weight	<i>Poids sec / poids en matière sèche (dw)</i>	
EAF	electric-arc furnaces	<i>les fours électriques à arc (EAF)</i>	
EFSA	European Food and Safety Authority	<i>Autorité Européenne de Sécurité des Aliments (EFSA)</i>	
GC-MS	Gas Chromatography Mass Spectrometry GC-MS	<i>Méthode d'analyse chimique [abréviation GC-MS en anglais conservée dans la traduction du présent rapport]</i>	
HDPE	High-Density Polyethylene	<i>Polyéthylène haute densité</i>	PEHD
LB	Lower Bound; results under detection limit are set to zero	<i>Les résultats sous la limite de détection sont mis à zéro</i>	
LOD	Limit of Detection	<i>Limite de Détection</i>	
LOQ	Limit of Quantification	<i>Limite de Quantification</i>	
MB	Middle Bound; values are set as half the detection limit values	<i>Valeurs non détectées rectifiées à la moitié de la limite de détection</i>	
MSWI	municipal solid waste incinerators	<i>incinérateurs de déchets solides municipaux (MSWI)</i>	
MWI	medical (or municipal) waste incinerators	<i>les incinérateurs de déchets médicaux (MWI)</i>	
ndl-PCB	Non-Dioxin-Like Polychlorinated Biphenyl (Non-Dioxin-Like PCB)	<i>PCB non apparentés aux dioxines</i>	
ng	Nanogram; 10 ⁻⁹ gram	<i>Nanogramme (10-9 gramme)</i>	
OTNOC	Other Than Normal Operating Conditions	<i>Conditions sortant des conditions normales de fonctionnement</i>	
PAH	Polycyclic Aromatic Hydrocarbons	<i>Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques</i>	HAP
PCB	Polychlorinated Biphenyl	<i>PolyChloroBiphényle</i>	PCB
PCDD	Polychlorinated Dibenzodioxins	<i>PolyChloroDibenzo-p-Dioxines</i>	
PCDF	Polychlorinated Dibenzofurans	<i>PolyChloroDibenzo-p-Furanes</i>	
PFAS	Per- and PolyFluoroAlkyl Substances	<i>Substances PerFluoroAlkylées</i>	
pg	Picogram; 10 ⁻¹² gram	<i>Picogramme (10-12 gramme)</i>	
POP	Persistent Organic Pollutants	<i>Polluants Organiques Persistants</i>	POP
RPF	Relative Potency Factors	<i>Facteurs relatifs d'activité [potentiel d'activité toxique mesuré in vitro]</i>	
SVHC	Substances of Very High Concern	<i>Substances hautement préoccupantes [selon le règlement européen REACH]</i>	
TCDD	2,3,7,8-tetrachloordibenzo-p-dioxine	<i>TétraChloroDibenzo-p-Dioxine</i>	

TDI	Tolerable Daily Intake	<i>Dose Journalière Admissible</i>	<i>DJA</i>
TEF	Toxic Equivalency Factor	<i>Facteur d'Équivalence Toxique</i>	<i>FET</i>
TEQ	Toxic Equivalents	<i>Quantité Toxique Équivalente</i>	
TOF	Total Organic Fluorine	<i>Fluorine Organique Totale</i>	
TW	ToxicoWatch	<i>ToxicoWatch</i>	<i>TW</i>
TWI	Tolerable Weekly Intake	<i>Dose hebdomadaire admissible</i>	<i>DHA</i>
UB	Upper Bound (ub), results under detection limit are set as detection limit values.	<i>Les résultats sous la limite de détection sont mis à la valeur de la limite de détection</i>	
WAX	weak anion exchange	<i>échange d'anions faible</i>	
WtE	Waste to Energy (incinérateur de déchets)	<i>Unité de Valorisation Énergétique</i>	<i>UVE</i>
WWTP	Waste Water Treatment Plant	<i>Station d'épuration</i>	<i>STEP</i>
µg	Microgram 10 ⁻³ gram	<i>Microgramme (10⁻⁶ gramme)</i>	

Table des matières

ABREVIATIONS	3
TABLE DES MATIERES	5
INTRODUCTION	6
1. LES POLLUANTS ORGANIQUES PERSISTANTS (POPS)	7
1.1. LES DIOXINES	7
1.2. LES PFAS.....	7
1.3. LES METAUX LOURDS	8
2 LA METHODOLOGIE	8
2.1. L'ANALYSE DES DIOXINES - DR CALUX	8
2.2. L'ANALYSE DES PFAS - PFAS CALUX.....	9
2.3. L'ANALYSE CHIMIQUE DES PFAS (LC-MS/MS).....	9
3 L'ECHANTILLONNAGE	9
3.1. L'ECHANTILLONNAGE DES MOUSSES (<i>BRYOPHYTES</i>).....	9
3.2. L'ECHANTILLONNAGE DE FEUILLES D'ARBRES A FEUILLES PERSISTANTES ET D'AIGUILLES DE PIN	10
3.3. L'ECHANTILLONNAGE DU SOL	10
4 RESULTATS DE LA BIOSURVEILLANCE	11
4.1. LES DIOXINES	11
4.1.1. Les dioxines dans les mousses	11
4.1.1. Les dioxines dans le sol	13
4.1.2. Les dioxines dans la végétation des arbres à feuilles persistantes, et les aiguilles de pin 16	
4.2. LES METAUX LOURDS	17
4.2.1. Les métaux lourds dans les mousses (<i>Bryophytes</i>)	17
3.2.2. Les métaux lourds dans les sols	18
4. LA CONTRE-RECHERCHE DE L'ARS, 2023 SUR LES ŒUFS DE POULE ISSUES DE POULLAILLERS URBAINS	19
5. CONCLUSION	21
REFERENCES	22
LISTE DES FIGURES	23
LISTE DES TABLEAUX	24
ANNEXE 1 : LES RESULTATS DES LABORATOIRES	24
ANNEXE 2 : LES PLAFONDS ET NIVEAU AND NIVEAUX D'INTERVENTION D'APRES LA LEGISLATION EUROPEENNE	24
ANNEXE 3 : LA VEGETATION ET LES RESULTATS	24

Introduction

Ce rapport présente les résultats d'analyse de la végétation et du sol dans l'environnement proche de l'incinérateur de déchets IVRY-PARIS XIII, situé à Ivry-sur-Seine. Les échantillons ont été prélevés en octobre 2024 par l'équipe de TW et en février par le Collectif 3R, mandaté pour effectuer des prélèvements complémentaires.

Ce rapport intermédiaire se concentre sur l'analyse de la végétation et du sol dans la zone environnante de l'incinérateur de déchets IVRY-PARIS XIII. Pour des informations générales complètes sur les polluants organiques persistants (POP), les réglementations européennes et les méthodologies, merci de vous référer aux rapports précédents de TW : TW Biomonitoring Research Paris (2021) (Recherche en biosurveillance Paris / Ivry-sur-Seine, 2021) et Hidden Emissions Waste Incinerator IVRY-PARIS XIII (2023) (Emissions cachées de l'incinérateur de déchets IVRY-PARIS XIII, 2023) - voir la section des références à la fin de ce rapport intermédiaire.

Lors de l'étude initiale TW de biosurveillance en 2021, ToxicoWatch s'est concentré sur la dioxine et a utilisé des œufs de poule issues de poulaillers urbains à proximité de l'incinérateur de déchets. Bien que l'Agence régionale de santé (ARS) ait validé les résultats de la biosurveillance, il a conclu qu'il y avait des contaminants similaires ailleurs à Paris, et non seulement à proximité de l'incinérateur de déchets. Par la suite, la volonté des populations à garder des poules ou de participer à des études de suivi a considérablement diminué en raison de l'attention négative associée aux poulaillers privés. La stratégie de biosurveillance de TW pour 2024/2025 à Ivry-sur-Seine donne donc la priorité aux mousses (et plus particulièrement des *bryophytes*), à la végétation (aiguilles de pin et feuilles d'arbres à feuilles persistantes) et au sol en tant que matrices clés pour l'analyse.

Comme pour les études précédentes de TW, les analyses chimiques sont complétées par des essais biologiques innovants afin de détecter un spectre plus large de POP, y compris les PCB de type dioxine (PCB « dioxin-like » ou « dl-PCB »), les dioxines halogénées mixtes et les PFAS. En outre, cette étude comprend l'analyse des métaux lourds dans les mousses (*bryophytes*).



Figure 1 : L'incinérateur de déchets Ivry-Paris XIII, 15 octobre 2024

1. Les Polluants Organiques Persistants (POPs)

1.1. Les Dioxines

Les dioxines sont des contaminants environnementaux omniprésents et persistants qui posent un grave problème de santé publique. Ces produits chimiques hautement toxiques sont liés au cancer, au diabète, à la neurotoxicité, à l'immunotoxicité et à la chloracné. Ils sont même soupçonnés - lorsque l'exposition a lieu pendant des périodes critiques du développement - de provoquer des altérations épigénétiques sur plusieurs générations (Viluksela & Pohjanvirta, 2019).

Les dioxines n'ont pas d'utilisation industrielle intentionnelle et se produisent de manière non intentionnelle au cours de processus industriels et thermiques, notamment dans les incinérateurs de déchets, les fonderies d'aluminium secondaire, les usines de frittage, les petits incinérateurs de déchets solides municipaux (MSWI), les incinérateurs de déchets médicaux (MWI), les fours électriques à arc (EAF), les incinérateurs de déchets industriels, les fours à ciment et les crématoriums.

Les dioxines et les PCB de type dioxine (dl-PCB) sont des substances très persistantes qui se dégradent très lentement, ce qui entraîne une bioaccumulation dans la chaîne alimentaire. Dans le cadre de la convention de Stockholm de 2004, 184 nations se sont engagées à réduire au minimum les émissions de dioxines et d'autres polluants organiques persistants produits de manière non intentionnelle (UPOP). Le PFOS (le sulfonate de perfluorooctane) et le PFOA (l'acide perfluorooctanoïque) ont également été inscrits sur la liste de la convention, respectivement en 2009 et en 2019, et les dioxines bromées ont également été proposées pour inclusion (2025 BRS Convention).

1.2. Les PFAS

Les substances Per- et PolyFluoroAlkyl (PFAS) constituent un vaste groupe de produits chimiques synthétiques utilisés dans de nombreux produits industriels et biens de consommation. Leur utilisation très répandue a provoqué une contamination omniprésente de l'environnement.

Les PFAS sont appréciés pour leur stabilité thermique, chimique et biologique, leur ininflammabilité et leurs propriétés tensioactives. Toutefois, cette même stabilité a conduit à une accumulation persistante dans l'environnement. Les PFAS ont été détectés dans de nombreuses matrices environnementales, notamment dans l'air, les eaux usées, les cours d'eau et la poussière, ainsi que dans des produits alimentaires, des emballages alimentaires, l'eau potable et des échantillons biologiques humains tels que le sang.

L'exposition aux PFAS est associée à des effets néfastes sur la santé, notamment des perturbations de la fonction thyroïdienne, du métabolisme (obésité, diabète, résistance à l'insuline, hypercholestérolémie), du développement du fœtus et de la fonction immunitaire (Young, 2021). Le risque d'immunotoxicité chez l'homme et la faune est désormais largement reconnu (Corsini, 2014).

Les PFAS pénètrent dans l'environnement par diverses voies et se retrouvent désormais dans le sol, les boues de dragage, les eaux de surface et - point critique - dans le flux de déchets, contribuant aux émissions dans l'air, les cendres et autres résidus d'incinération (RIVM, 2025).

L'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA) a conclu que certaines parties de la population européenne dépassent la dose hebdomadaire tolérable (DHT) pour la somme de quatre PFAS, Σ 4 PFAS par le biais de l'exposition alimentaire (EFSA 2024).

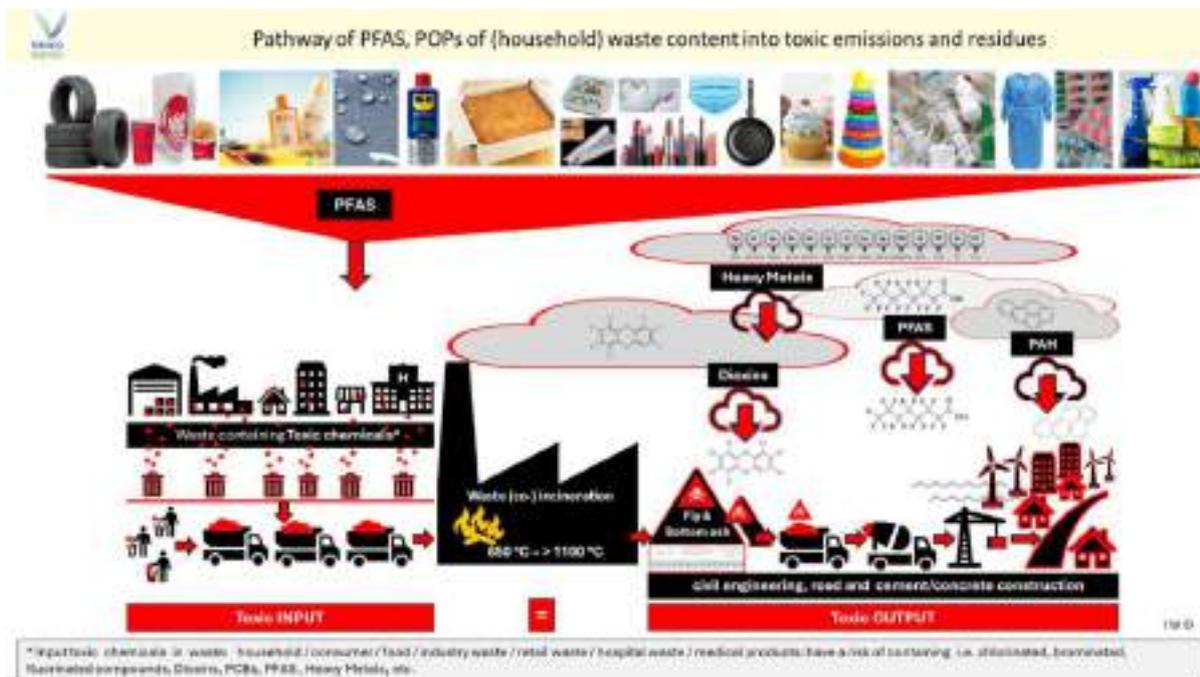


Figure 2 : La transformation des PFAS et des POP dans les ordures ménagères en émissions toxiques

1.3. Les métaux lourds

Dans le cadre de la biosurveillance TW, entre 6 et 14 métaux lourds [HM 6-14] ont été analysés, dont : Silver (Ag), Aluminium (Al), Arsenic (As), le Baryum (Ba), le Cadmium (Cd), le Cobalt (Co), le Chrome (Cr), le Cuivre (Cu), le Mercure (Hg), le Manganèse (Mn), le Nickel (Ni), le Plomb (Pb), l'Étain (Sn) et le Zinc (Zn). L'analyse est effectuée par le laboratoire accrédité Normec Groen Agro Control à l'aide de l'ICP-MS selon les méthodes A068 +A095 (méthode Normec), conformément à la norme NEN-EN 13805, et mesurée selon la norme NEN-EN-ISO 17294-2.

2 La méthodologie

L'analyse des dioxines et des PFAS présentée dans ce rapport intermédiaire a été réalisée par BioDetection Systems (Amsterdam, Pays-Bas), laboratoire accrédité sous le n° RvA L401.

Les analyses chimiques de Σ 24 PFAS (LC-MS/MS) et des métaux lourds ont été effectuées par Normec Groen Agro Control, en utilisant la méthode ICP-MS pour les métaux lourds (A068 +A095), conformément aux normes NEN-EN 13805 et NEN-EN-ISO 17294-2.

2.1 L'analyse des dioxines - DR CALUX

L'essai biologique DR CALUX® (Dioxin Responsive Chemical Activated LUciferase gene eXpression) sert à quantifier les dioxines/furanes (PCDD/F) et les PCB de type dioxine (dl-PCB). Pour une explication détaillée de la méthode, se référer au premier rapport « Recherche en biosurveillance Paris / Ivry-sur-Seine, 2021 ».

2.2 L'analyse des PFAS - PFAS CALUX

L'essai biologique PFAS CALUX utilise des lignées cellulaires de moelle osseuse humaine (U2OS), contenant le gène de la luciférase de la luciole lié aux éléments sensibles aux hormones thyroïdiennes (TRE). Ce système rapporteur détecte les composés perturbateurs des hormones thyroïdiennes, en mesurant spécifiquement la concurrence de la liaison TTR par les PFAS.

L'essai compare l'activité des PFAS à celle du composé de référence, l'acide perfluorooctanoïque (PFOA), en lui attribuant une valeur de puissance relative de 1, analogue à l'utilisation de la TCDD dans les calculs de TEQ (Behnisch, 2021). Les résultats sont exprimés en µg d'équivalent PFOA/g de produit.

Les PFAS ont été extraits à l'aide d'une cartouche SPE à échange d'anions faible (WAX). Environ 500 ml d'eau de surface ou 1 litre d'influent/effluent de STEP ont été filtrés sur des filtres en fibre de verre. Les colonnes WAX-SPE (Oasis WAX, Waters 186002493) ont été conditionnées avec la séquence suivante (4 ml MeOH/0,1% NH₄OH ; 4 ml MeOH ; 4 ml d'eau super-demi). Après le conditionnement, les volumes d'échantillons spécifiés ont été chargés sur les colonnes. Les colonnes ont ensuite été lavées avec (4 ml de NH₄AC 25 mM pH 4 ; 8 ml de THF/MeOH (75 :25)).

Les PFAS ont été élués des colonnes WAX- SPE à l'aide de 4 ml de MeOH/0,1 % NH₄OH. Les éluats ont été évaporés sous azote à 45 °C et reconstitués dans 15 µg de DMSO.

2.3 L'analyse chimique des PFAS (LC-MS/MS)

Les analyses chimiques des PFAS et des métaux lourds ont été réalisées par le laboratoire accrédité Normec, Groen Agro Control, situé à Delft, aux Pays-Bas.

Pour les PFAS, l'analyse chimique LC-MS/MS, la somme de Σ 24 PFAS est utilisée. Pour les métaux lourds, l'ICP-MS s'applique, selon la méthodologie A068 +A095 (méthodologie Normec), conformément à la norme NEN-EN 13805, et les mesures ont été effectuées conformément à la norme NEN-EN-ISO 17294-2.

L'échelle de couleurs indicatives TW utilisée dans le but d'interpréter les résultats pour les mousses et la végétation s'appuie sur le Règlement de la Commission (UE) 2023/915 et le rapport de l'EFSA : *Risk for animal and human health related to the presence of dioxins and dioxin-like PCBs in feed and food* (Knutsen, 2018).

3 L'échantillonnage

3.1. L'échantillonnage des mousses (*bryophytes*)

Dans le cadre de ce rapport intermédiaire relatif à l'étude de biosurveillance TW à Ivry-sur-Seine, (octobre 2024/février 2025), seules les mousses (*Bryophytes*) de la classe des *Bryidae* - qui regroupent la majorité des espèces de mousses au niveau mondial (plus de 9 500) - ont été sélectionnées pour analyser la charge de polluants organiques persistants (POP).

En octobre 2024, un minimum de 100 grammes de mousses a été collecté sur chaque site, principalement des espèces *Hylocomium splendens* et *Pleurozium schreberi*. La cuticule consiste à une « peau » grasse et cireuse qui recouvre les feuilles des plantes. La cuticule cireuse, ainsi que les stomates (pores à la surface des feuilles qui facilitent les échanges gazeux), jouent un rôle clé dans le transport des xénobiotiques, ce qui rend cette végétation efficace en tant que biomarqueur pour la surveillance de l'environnement (Matos *et al.*, 2022).

Bien que les *bryophytes* aient en général une cuticule peu développée, le degré de développement de la cuticule varie selon les espèces, ce qui peut influencer leur capacité à absorber les polluants. La teneur en lipides de la cuticule - qui dépend également de l'espèce - est particulièrement importante pour le transport des xénobiotiques. Malgré les différences dans la capacité d'absorption des POP entre espèces, les mousses (*bryophytes*) - ainsi que les lichens (non utilisés dans cette étude TW) - sont considérés comme des bioindicateurs précieux pour la surveillance de la pollution environnementale par les POP. Ils peuvent refléter à la fois les niveaux et les types de polluants présents dans leur habitat. Une biosurveillance efficace repose sur une identification précise des espèces ainsi que sur l'utilisation d'échantillons composites, en prélevant des échantillons à plusieurs endroits différents sur un site donné, afin d'assurer une répartition bien équilibrée. Cela garantit des comparaisons fiables des résultats analytiques entre les sites pollués et les sites de référence. L'application des mousses dans la recherche sur la biosurveillance a été largement documentée dans la littérature scientifique (Jovan *et al.*, 2024 ; Musilova *et al.*, 2024 ; Qarri *et al.* 2019).

3.2. L'échantillonnage de feuilles d'arbres à feuilles persistantes et d'aiguilles de pin

Des feuilles d'arbres à feuilles persistantes, du feuillage et des aiguilles de pin (100 grammes par échantillon) de diverses espèces d'arbres à feuilles persistantes et de pins ont été collectés pour cette étude de biosurveillance de la végétation d'Ivry-sur-Seine en octobre 2024. Les espèces d'arbres suivants ont été échantillonnées : l'olivier (*Olea europaea*), le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*), le cyprès de l'Arizona (*Cupressus arizonica*), le figuier (*Ficus carica*), le pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) et le pin pleureur de l'Himalaya (*Pinus Wallichiana*).

3.3. L'échantillonnage du sol

Les échantillons de sol ont été prélevés à l'aide de pelles à main, en se concentrant sur les couches supérieures du sol (0-5 cm). Les échantillons ont été prélevés en plusieurs points sur quelques mètres carrés à chaque site afin d'assurer la représentativité. Un minimum de 150 grammes de sol a été prélevé à chaque site et immédiatement stocké dans un sac de laboratoire en PEHD ou dans un bocal en verre.

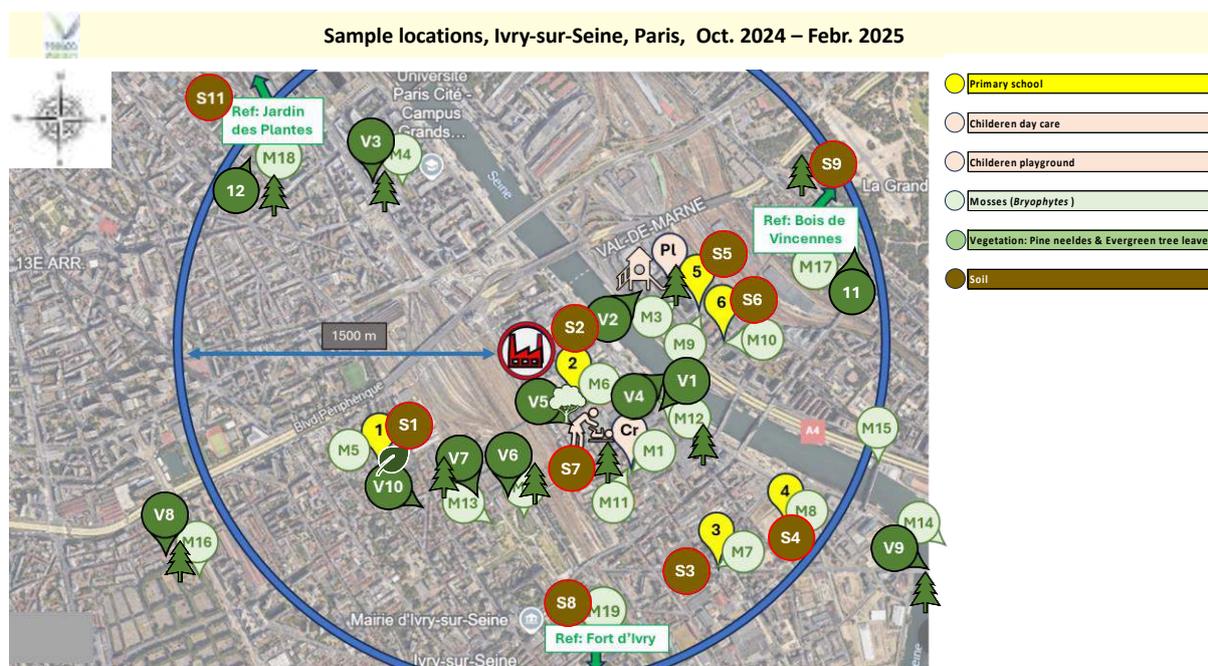


Figure 2 : Les sites d'échantillonnage, Ivry-sur-Seine et Paris, oct. 2024 - févr. 2025

4 Résultats de la biosurveillance

4.1. Les dioxines

4.1.1. Les dioxines dans les mousses

Les mousses sont largement reconnues comme des bioindicateurs de la pollution. Toutefois une interdiction de l'utilisation ou de la présence de mousses manquerait tout autant de hauteur de vue que l'interdiction de consommer des œufs de poule et irait à l'encontre des efforts déployés pour réduire les POP dans l'environnement dans la mesure où les plantes aident à décontaminer l'air et le sol. Une telle mesure serait une approche à court terme qui ignorerait les causes profondes de la pollution.

La végétation joue un rôle de tampon naturel en captant les dépôts atmosphériques de polluants. Sans ce tampon, les polluants sont plus susceptibles de pénétrer dans l'environnement humain sous forme de poussières extérieures ou intérieures, augmentant l'exposition par inhalation, contact avec la peau et ingestion. La phytoremédiation - l'utilisation de plantes pour éliminer ou neutraliser les polluants - est de plus en plus acceptée par les communautés locales et les organismes de réglementation comme une solution durable et visuellement attrayante (Ensley, 1997). Le potentiel de la phytoremédiation mérite des recherches plus approfondies et une application plus large (Alkorta, 2001).

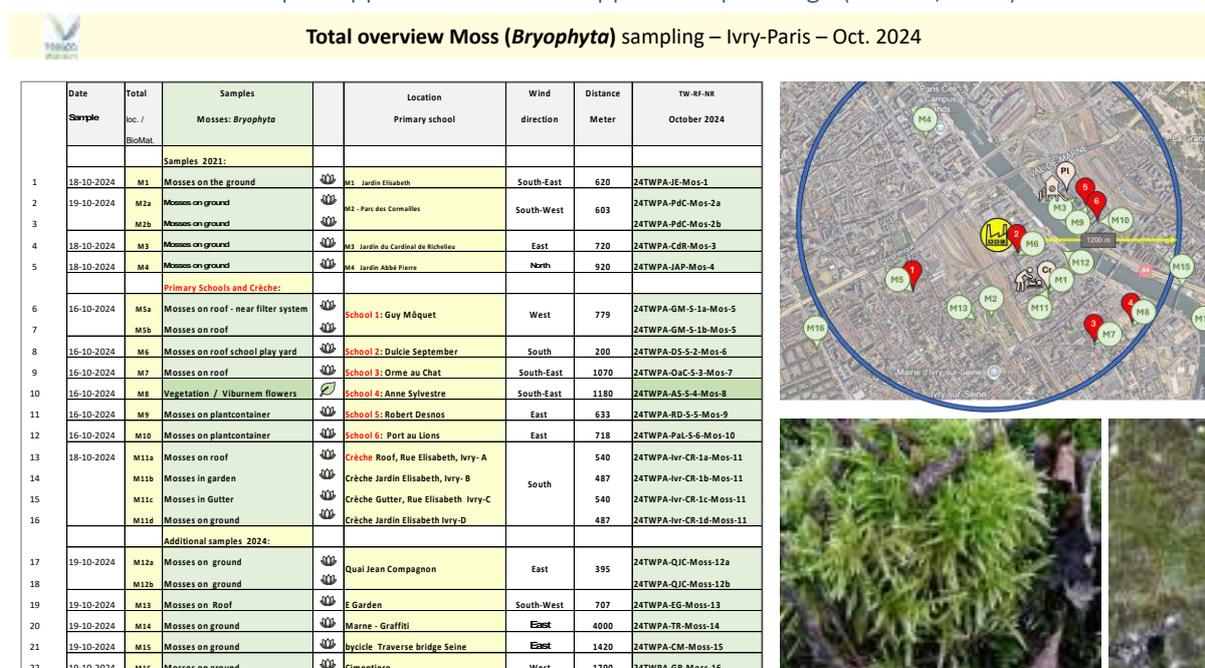


Figure 3 : Une vue d'ensemble de l'échantillonnage des mousses – 2024

Il existe deux approches principales pour interpréter les résultats de l'analyse des dioxines provenant des échantillons de mousse prélevés en octobre 2024 :

- Utilisation de la mousse comme espèce indicatrice, en comparant sa charge polluante à celle de la végétation.
- Évaluation de la mousse comme s'il s'agissait d'alimentation animale, afin d'évaluer les risques potentiels pour la santé tout au long de la chaîne alimentaire.

À titre de comparaison, les **niveaux moyens de dioxines dans les légumes** sont de **0,21 pg TEQ/g de poids humide (ww)**, tels que mesurés avec la méthode DR CALUX.

Le tableau ci-dessous présente les résultats des dioxines en poids humide/produit entier, alignés sur les limites d'action de l'Union européenne pour les dioxines dans la végétation (EFSA, 2018). Il est important de souligner que toutes les directives pertinentes devraient être mises à jour pour refléter la **dose hebdomadaire tolérable (DHT)** révisée pour les dioxines, qui est actuellement fixée à **2 pg TEQ/kg pc/semaine (EFSA, 2018)**. Les résultats de l'analyse des dioxines sont également exprimés en 88 % de poids sec (dw). Ces résultats sont présentés avec l'échelle de couleur indicative TW pour les mousses (*Bryophytes*), basée sur la comparaison avec la **limite maximale européenne pour les dioxines dans l'alimentation animale de 1,25 pg TEQ/g**, telle qu'établie dans la directive 2002/32/CE sur les substances indésirables dans l'alimentation animale. Le tableau d'indication montre également un facteur de conversion de 66,6 %, utilisé pour dériver une **limite indicative DR CALUX de 0,83 pg TEQ/g**, en suivant la même approche que celle appliquée dans les analogies de la réglementation sur les œufs.

Results Dioxins Total overview Moss (*Bryophytes*) & sample locations, Ivry-sur-Seine, Paris – Oct. 2024 - 2025

Year	Sample	Moss Location	Sample code	Results wet weight, ww (PCDD)			Moisture (%)	Results 88% dry weight, dw (PCDD)			
				PCDD/F	dl-PCB	PCDD/F/dl-PCB		PCDD/F	dl-PCB	PCDD/F/dl-PCB	
				pg TEQ eq/g	pg TEQ eq/g	pg TEQ eq/g		pg TEQ eq/g	pg TEQ eq/g	pg TEQ eq/g	
3	2024	Moss	School M 8	Jardin Sylvester	0,10	0,05	0,15	68,3	0,28	0,14	0,42
3	2024	Moss	M 4	Jardin Abbé Pierre 2024	0,31	0,10	0,41	70,1	0,91	0,29	1,21
3	2024	Moss	M 2	Parc De Cormailles 2024	0,26	0,22	0,48	55,6	0,52	0,44	0,95
4	2024	Moss	School M 3	Cimetière Au Clair	0,29	0,11	0,60	88,2	2,16	2,31	4,44
5	2025	Moss	Ref. M 18 A	Jardin Des Plantes	0,86	0,05	0,91	51,1	1,55	0,09	1,64
6	2025	Moss	Ref. M 13	Bois Des Vincennes	0,95	0,05	1,00	59,7	2,07	0,11	2,18
001	Moss	M 4	Jardin Abbé Pierre 2021	0,88	0,29	1,17	73,2	2,89	0,95	3,84	
7	2024	Moss	M 9	Jardin De Cardinal De Richelieu	0,86	0,11	1,18	67,6	2,13	0,87	3,20
8	2024	Moss	M 15	Traverse Bridge Seine	0,79	0,40	1,19	75,4	2,83	1,43	4,26
9	2024	Moss	School M 9	Robert Desnos	0,79	0,60	1,30	21,9	0,89	0,68	1,57
001	Moss	M 2	Parc Des Cormailles 2021	1,10	0,31	1,41	73,2	3,61	1,02	4,63	
10	2025	Moss	Ref. M 18 A	Jardin Des Plantes	1,20	0,30	1,50	66,0	3,11	0,78	3,88
11	2024	Moss	M 11	Griva garden	0,77	0,76	1,53	85,6	4,70	4,64	9,34
12	2024	Moss	School M 8	Stulicz Septentrion	1,20	0,41	1,61	85,5	3,06	1,05	4,11
001	Moss	M 4	Cardinal de Richelieu 2021	2,20	0,61	2,81	73,2	7,22	2,00	9,23	
13	2024	Moss	Ref. M 13	Fort d'Ivry	0,05	3,10	3,15	62,6	0,12	7,29	7,41
14	2024	Moss	M 11	Quai Jean Compagnon	1,50	2,00	3,50	59,3	3,25	4,33	7,57
15	2024	Moss	M 11	Jardin Elisabeth 2024	1,60	2,20	3,80	84,6	9,14	12,57	21,70
001	Moss	M 11	Jardin Elisabeth 2021	3,80	1,10	4,90	73,2	12,48	3,61	16,09	

Tableau 1 : Les résultats des dioxines dans les mousses exprimés en poids humide (ww) et en 88 % de poids sec (dw) (DR CALUX).



Figure 4 : Les sites d'échantillonnage des mousses (Bryophytes – Ivry-sur-Seine et Paris, octobre 2024 et février 2025

4.1.1 Les dioxines dans le sol

L'exposition à la terre peut se produire soit par ingestion directe - ce qui est particulièrement important pour les jeunes enfants - soit par l'intermédiaire de particules de terre qui adhèrent aux fruits et légumes. L'ampleur de l'ingestion humaine par le sol dépend du milieu environnant (par exemple rural ou urbain) et de la présence de sources d'émission de dioxines (PCDD/F) (EFSA 2018).

En supposant que les concentrations dans le sol se situent entre 5 et 50 pg TEQ/g avec une ingestion quotidienne de l'ordre de 0,1 g, l'absorption potentielle à partir du sol serait comprise entre 0,5 et 5,0 pg TEQ par personne et par jour (Fürst, 1992). Ces résultats devraient être pris en compte dans l'organisation d'activités scolaires en plein air, par exemple la culture de fruits et légumes dans des potagers pédagogiques, afin de minimiser les risques d'exposition potentiels.



Dioxins (PCDD/F/dl-PCB) in soil (DR CALUX)									
Nr.	Soil Sample location	Wind	Distance (m)	DR CALUX (mb-dw)			DR CALUX (ub-dw)		
		direction	IPXIII	PCDD/PCDF	dl-PCBs	PCDD/F/dl-PCB	PCDD/PCDF	dl-PCBs	PCDD/F/dl-PCB
Soil-01	School Guy Môquet	West	779	0,20	0,20	0,40	0,20	0,20	0,40
Soil-02	School Dulcie September	South	200	3,70	0,25	3,95	3,70	0,25	3,95
Soil-03	School Orme au Chat	South-East	1070	5,00	1,80	6,80	5,00	1,80	6,80
Soil-04	School Anne Sylvestre	South-East	1180	0,68	0,38	1,06	0,68	0,38	1,06
Soil-05	School Robert Desnos	East	633	3,20	0,62	3,82	3,20	0,62	3,82
Soil-06	School Port au Lions	East	718	10,00	0,58	10,58	10,00	0,58	10,58
Soil-07	Childeren daycare Jardin Elisabeth	South-East	620	11,00	5,00	16,00	11,00	5,00	16,00
Soil-08	Ref. Fort d'Ivry	South	2050	11,00	6,20	17,20	11,00	6,20	17,20
Soil-09	Ref. Bois de Vincennes	North-East	4160	3,00	1,40	4,40	3,00	1,40	4,40
Soil-11	Ref. Jardin des plants	North-West	2050	3,80	0,86	4,66	3,80	0,86	4,66

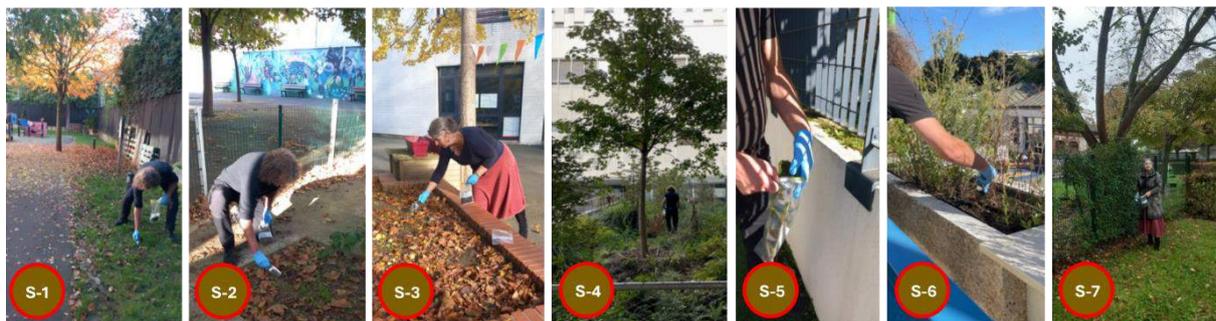


Figure 6 : Les dioxines dans les sols des cours de récréation à Ivry-sur-Seine 2024

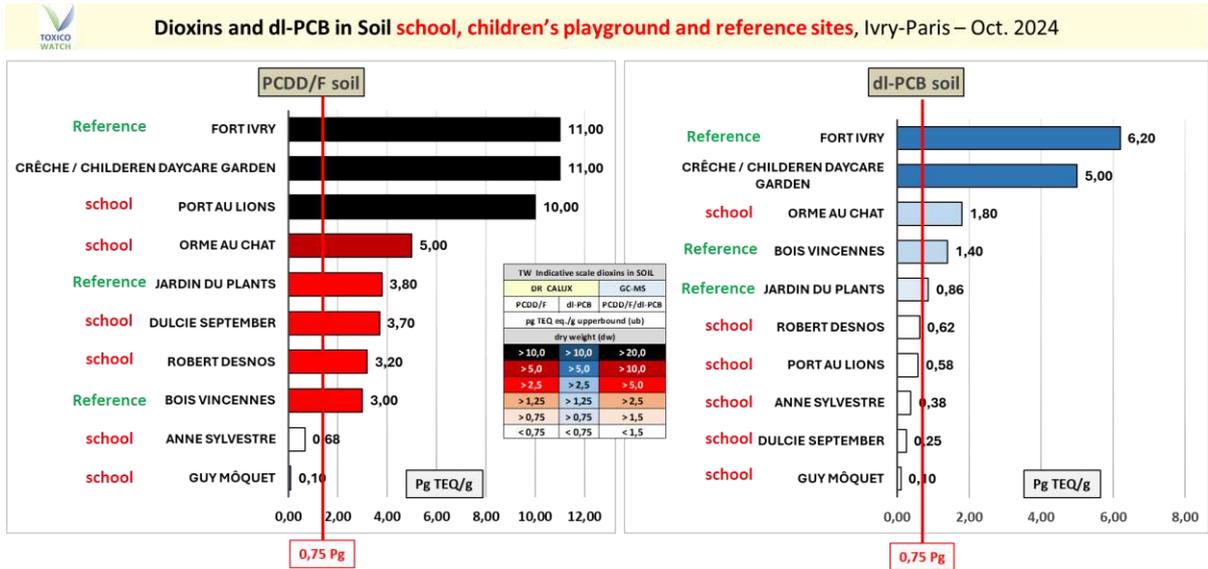


Figure 7 : Les dioxines et les dl-PCB dans les sols des cours de récréation à Ivry-sur-Seine et aux sites de référence à Paris, 2024

Une comparaison des niveaux de dioxine dans le sol et les mousses (*bryophytes*) au Fort d'Ivry révèle un contraste frappant. Alors que l'échantillon de sol prélevé à cet endroit est fortement contaminé par les dioxines (PCDD/F/dl-PCB), les échantillons de mousse prélevés au même endroit et au même moment sont parmi les plus « propres » de cette étude de biosurveillance. En revanche, les échantillons de sol et de mousse prélevés au Jardin Elisabeth, situé à proximité d'une crèche, présentaient des niveaux élevés de dioxines. Il est bien établi que les mousses (*bryophytes*) n'absorbent pas les POP du sol, mais les accumulent dans l'atmosphère. Contrairement aux plantes vasculaires, les mousses n'ont pas de racine (xylème) pour absorber l'eau et les nutriments. Elles vont s'ancrer aux surfaces à l'aide de rhizoïdes, une structure semblable à une racine qui ne facilite pas l'absorption à partir du substrat. Par conséquent, les valeurs élevées de dioxines dans les mousses collectées près de la garderie du Jardin Elisabeth sont attribuées au dépôt atmosphérique et non à la contamination du sol. En ce qui concerne les POP dans le sol, il est important de tenir compte de l'influence possible d'autres facteurs de

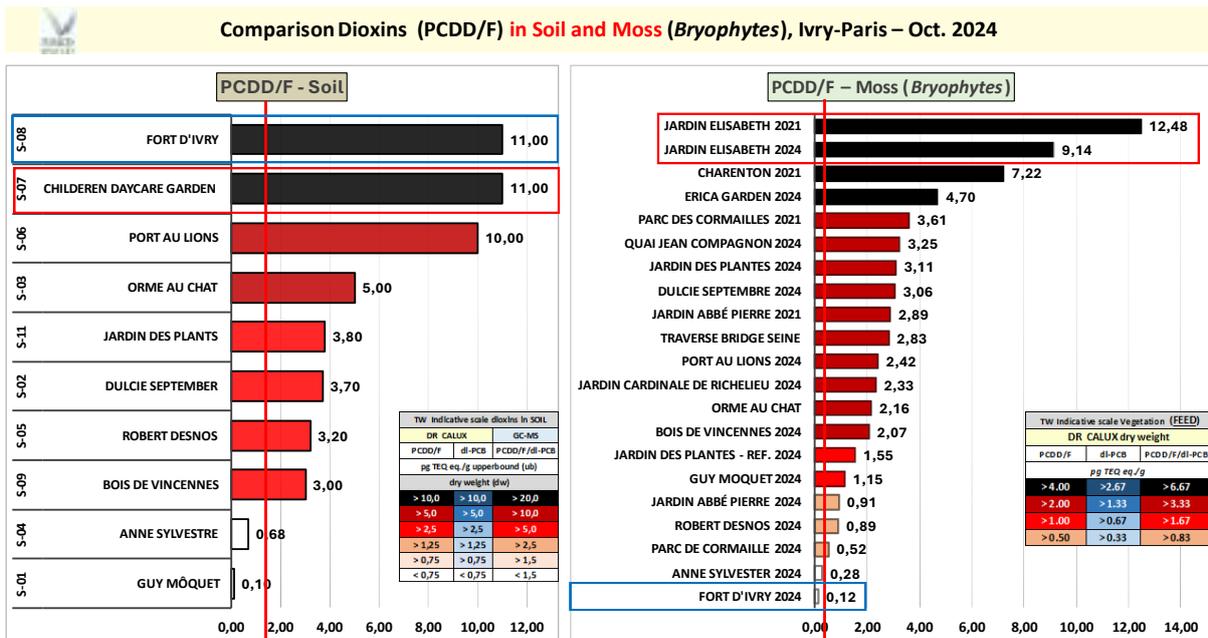


Figure 5: La comparaison des dioxines (PCDD/F) dans les sols et les mousses - Ivry-sur-Seine et Paris, 2024 confusion, qui peuvent contribuer à la contamination observée et à la variabilité des résultats.

4.1.2. Les dioxines dans la végétation (ex. : arbres à feuilles persistantes, et aiguilles de pin)

Sur 10 sites d'échantillonnage de la végétation, des aiguilles de pin et des feuilles d'arbres à feuilles persistantes ont été collectées et analysées pour les dioxines (PCDD/F/dl-PCB) selon la méthode DR CALUX. Ces sites d'échantillonnage sont situés dans un rayon de 400 à 1 700 mètres de l'incinérateur de déchets IPXIII, et comprennent toutes les directions du vent, en mettant l'accent sur le quadrant sud et est au-delà du périphérique. Les résultats concernant les dioxines sont présentés dans le tableau ci-dessous ainsi que dans l'annexe C : Les dioxines dans la végétation, et sont visualisés à l'aide de l'échelle de couleurs indicatives TW. A noter surtout qu'il y a un dépassement constant des niveaux de PCB de type dioxine (dl-PCB), ce qui vaut une part importante de la charge totale en dioxines (PCDD/F/dl-PCB). Si ces résultats étaient évalués dans le cadre de la réglementation sur les aliments pour animaux, ils dépasseraient les limites de l'Union européenne. La concentration de dioxines la plus élevée a été trouvée dans le feuillage persistant du cyprès d'Arizona (*Cupressus arizonica*), échantillonné au Jardin du Cardinal de Richelieu à Charenton, mesurant 0,88 pg TEQ/g. La deuxième valeur la plus élevée a été enregistrée dans les aiguilles de pin pleureur de l'Himalaya (*Pinus Wallichiana*), au site de référence Jardin des Plantes, avec 0,73 pg TEQ/g.

Dioxins (PCDD/F) in pine needles and evergreen tree leaves, Ivry-sur-Seine, Paris – Oct. 2024 / Febr. 2025

Dioxins (PCDD/F) in Pine needles, evergreen tree leaves, Ivry-sur-Seine, Oct 2024 / Febr. 2025										DR CALUX		
Date	Total Sample	BioMat.	Vegetation Samples	Location	Wind direction	Distance (m)	Paris, Oct. 2024 / Febr. 2025	pg TEQ / g wet weight				
Sample			Pine needles / leaves	Public Bvd/Garden/ School/ Crèche		IP XIII	TW-REF-NR	PCDD/F	dl-PCB	PCDD/F/dl-PCB		
1	18-10-2024	V1	<i>Cedrus atlantica</i>	Jardin Elisabeth	South-East	487	24TWPA-JE-PNCeA-VEG-1	0,075	0,650	0,725		
2	18-10-2024	V2a	<i>Cupressus arizonica</i>	Jardin du Cardinal de Richelieu	East	724	24TWPA-CdR-PNCuA-VEG-2a	0,880	0,360	1,240		
3	18-10-2024	V2b	<i>Cedrus atlantica</i>	Jardin du Cardinal de Richelieu			24TWPA-CdR-PNCeA-VEG-2b	0,320	0,320	0,640		
4	18-10-2024	V3	<i>Pinus silvestris</i>	Jadrin Abbé Pierre	North	930	24TWPA-AP-PNPS-VEG-3	0,110	0,250	0,360		
5	19-10-2024	V4a	<i>Pinus silvestris</i>	Quai Jean Compagnon	East	525	24TWPA-QJ-PNPS-VEG-4a	0,077	0,280	0,357		
6	19-10-2024	V4b	<i>Pinus silvestris</i>	Quai Jean Compagnon			24TWPA-QJ-PNPS-VEG-4b					
7	19-10-2024	V5	<i>Olea europaea</i>	Allée Chanted'air	South	427	24TWPA-AC-LFOE-VEG-5	0,094	0,060	0,154		
8	19-10-2024	V6	<i>Pinus sylvestris</i>	Parc des Cormailles	South-West	603	24TWPA-PC-PNPS-VEG-6	0,074	0,220	0,294		
9	19-10-2024	V7	<i>Cedrus atlantica</i>	DH Garden	South-West	700	24TWPA-DH-PNCeA-VEG-7					
10	19-10-2024	V8	<i>Cedrus atlantica</i>	Cimentiere	West	1700	24TWPA-CE-PNCeA-VEG-8	0,110	0,390	0,500		
11	19-10-2024	V9	<i>Cedrus atlantica</i>	Marne-Halfway_Traverse/Graffiti	East	3000	24TWPA-MA-PNCeA-VEG-9	0,230	0,240	0,470		
12	19-10-2024	V10	<i>Fig - Ficus carica</i>	K Garden	West	850	24TWPA-KY-LFF-VEG-10	0,076	0,094	0,170		
13	Febr. 2025	V11	<i>Pinus Wallichiana</i>	Jardin des Plantes: Reference	North-West	3000	25TWPA-BJdP-PN-PPW-3A	0,730	0,350	1,080		
14	Febr. 2025	V12	<i>Pinus silvestris</i>	Bois de Vincennes: Reference	East	2700	25TWPA-BV-PS-PN-1B	0,270	0,230	0,500		



TW Indicative scale Vegetation (Food)		
DR CALUX - wet weight (ww) ub		
PCDD/F	dl-PCB	PCDD/F/dl-PCB
pg TEQ/g		
> 1.60	> 0.53	> 2.13
> 0.80	> 0.27	> 1.07
> 0.40	> 0.13	> 0.53
> 0.20	> 0.07	> 0.27
< 0.20	< 0.07	< 0.27



Figure 6 : Les dioxines (PCDD/F) dans les aiguilles de pin, et les arbres à feuilles persistantes à Ivry-sur-Seine et Paris, octobre 2024 et février 2025

Les résultats d'analyse des dix (10) échantillons de végétation prélevés en 2024 montrent des niveaux de dioxines inférieurs à ceux mesurés aux quatre (4) sites de prélèvement en 2021. Ces résultats contrastent avec les concentrations élevées de dioxine observées dans les échantillons de mousse (*bryophytes*) prélevés en octobre 2024/février 2025.

Contrairement aux échantillons de mousse, la distribution des dioxines et des dl-PCB dans les échantillons de végétation - tels que les feuilles persistantes et les aiguilles de pin - est moins clairement définie. Cela peut être dû à la nature hétérogène des espèces d'arbres échantillonnées : *Olea Europaea*, *Cedrus atlantica*, *Cupressus arizonica*, *Ficus carica*, *Pinus sylvestris* et *Pinus Wallichiana*.

4.2. Les métaux lourds

4.2.1. Les métaux lourds dans les mousses (*Bryophytes*)

Au total, 14 métaux lourds ont été analysés dans des échantillons de mousses (*Bryophytes*). Les tableaux ci-dessous présentent les résultats en milligrammes par kilogramme de poids sec (mg/kg (dw)). Le deuxième tableau comprend une carte thermique qui compare les concentrations de métaux lourds avec celles mesurées dans les échantillons de mousse du cimetière d'Ivry-sur-Seine - un site de référence situé à 1 700 mètres à l'ouest de l'incinération des déchets IPXIII. Ce site de référence présente des concentrations légèrement élevées de certains métaux lourds. A noter que 7 métaux lourds sur les 14 sont inférieurs à la limite de détection (<LOD). Cela dit, il y a une différence marquée entre les valeurs des métaux lourds à ce site par rapport à celles mesurées dans les échantillons de mousse prélevés plus près de l'incinérateur de déchets IPXIII. Certains résultats sont d'importance,

Results Heavy Metals [14] in Mosses (<i>Bryophytes</i>), mg/kg, (dw), Upper Bound (UB) - Paris, October 2024																
TW-REF-NR	Location	Moss	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
			Ag	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn
			Silver	Aluminium	Arsenic	Barium	Cadmium	Cobalt	Chromium	Copper	Mercury	Manganese	Nickel	Lead	Tin	Zinc
24TWPA-GR-Moss-16	Reference: Cimetière	M 16	0,01	3522,00	0,02	46,00	0,01	0,05	11,00	0,02	0,01		0,05	28,00	18,00	0,11
24TWPA-PdC-Mos-2b	Parc des Cormaille	M 2 b	0,10	6523,00	4,90	85,00	0,20	3,30	31,00	23,00	0,12		10,00	64,00	6,40	84,00
24TWPA-PaL-S-6-Mos-10	School 6: Port au Lions	M 10	0,78	13590,00	6,00	202,00	1,50	9,60	86,00	347,00	0,28		40,00	330,00	71,00	2577,00
24TWPA-Qac-S-3-Mos-7	School 3: Orme au chat	M 7	0,36	13513,00	3,10	96,00	0,44	7,90	32,00	73,00	0,09	414,00	29,00	113,00	13,00	551,00
24TWPA-DS-S-2-Mos-6	School 2: Dulcie Septembre	M 8	0,71	8376,00	3,30	126,00	1,20	5,70	46,00	158,00	0,22		21,00	132,00	31,00	2523,00
24TWPA-GR-Moss-16	Reference: Cimetière	M 16	0,01	3522,00	0,02	46,00	0,01	0,05	11,00	0,02	0,01		0,05	28,00	18,00	0,11
24TWPA-EG-Moss-13	E garden	M 13	1,10	12382,00	6,50	378,00	3,40	6,90	56,00	116,00	0,13		39,00	1304,00	30,00	1527,00
24TWPA-QJC-Moss-12a	Quai Jean Compagnon	M 12a	0,35	8513,00	20,00	264,00	0,65	13,00	55,00	361,00	0,10		27,00	125,00	26,00	919,00
24TWPA-Ivr-CR-1d_Moss-11	Crèche Ivry ground	M11d	0,11	13667,00	2,60	122,00	0,24	1,80	28,00	25,00	0,19		16,00	77,00	2,90	167,00
24TWPA-Ivr-CR-1a_Moss-11	Crèche Ivry roof	M 11a	0,67	11748,00	4,90	104,00	0,69	8,20	40,00	103,00	0,11		30,00	157,00	8,30	1577,00
24TWPA-GM-S-1a-Mos-5	School 1: Guy Moquet	M 5a	0,08	2309,00	2,50	47,00	0,22	1,60	8,30	57,00	0,06		6,80	16,00	7,20	135,00
24TWPA-JAP-Mos-4	Jardin Abbé Pierre	M4	0,05	15145,00	7,40	83,00	0,23	5,50	33,00	16,00	0,05		15,00	17,00	1,70	53,00
Heat map of Heavy Metals [14] of mosses (<i>Bryophytes</i>) vs reference location M16, Ivry-sur-Seine - Paris, October 2024																
TW-REF-NR	Location	Moss	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
			Ag	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn
			Silver	Aluminium	Arsenic	Barium	Cadmium	Cobalt	Chromium	Copper	Mercury	Manganese	Nickel	Lead	Tin	Zinc
24TWPA-GR-Moss-16	Reference: Cimetière	M 16	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD	< LOD
24TWPA-PdC-Mos-2b	Parc des Cormaille	M 2 b	10,0	1,9	245,0	1,8	20,0	66,0	2,8	1150,0	12,0		200,0	2,3	0,4	763,6
24TWPA-PaL-S-6-Mos-10	School 6: Port au Lions	M 10	78,0	3,9	300,0	4,4	150,0	192,0	7,8	17350,0	28,0		800,0	11,8	3,9	23427,3
24TWPA-Qac-S-3-Mos-7	School 3: Orme au chat	M 7	36,0	3,8	155,0	2,1	44,0	158,0	2,9	3650,0	8,9		580,0	4,0	0,7	5009,1
24TWPA-DS-S-2-Mos-6	School 2: Dulcie Septembre	M 8	71,0	2,4	165,0	2,7	120,0	114,0	4,2	7900,0	22,0		420,0	4,7	1,7	22936,4
24TWPA-GR-Moss-16	Reference: Cimetière	M 16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0		1,0	1,0	1,0	1,0
24TWPA-EG-Moss-13	E garden	M 13	110,0	3,5	325,0	8,2	340,0	138,0	5,1	5800,0	13,0		780,0	46,6	1,7	13881,8
24TWPA-QJC-Moss-12a	Quai Jean Compagnon	M 12a	35,0	2,4	1000,0	5,7	65,0	260,0	5,0	18050,0	10,0		540,0	4,5	1,4	8354,5
24TWPA-Ivr-CR-1d_Moss-11	Crèche Ivry ground	M11d	11,0	3,9	130,0	2,7	24,0	36,0	2,5	1250,0	19,0		320,0	2,8	0,2	1518,2
24TWPA-Ivr-CR-1a_Moss-11	Crèche Ivry roof	M 11a	67,0	3,3	245,0	2,3	69,0	164,0	3,6	5150,0	11,0		600,0	5,6	0,5	14336,4
24TWPA-GM-S-1a-Mos-5	School 1: Guy Moquet	M 5a	8,3	0,7	125,0	1,0	22,0	32,0	0,8	2850,0	6,0		136,0	0,6	0,4	1227,3
24TWPA-JAP-Mos-4	Jardin Abbé Pierre	M4	4,7	4,3	370,0	1,8	23,0	110,0	3,0	800,0	5,3		300,0	0,6	0,1	481,8
Heatmap Heavy Metal [14] in moss (<i>Bryophytes</i>) - Paris, October 2024 vs reference data HM in vegetables																
TW-REF-NR	Location	Moss	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
			Ag	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn
			Silver	Aluminium	Arsenic	Barium	Cadmium	Cobalt	Chromium	Copper	Mercury	Manganese	Nickel	Lead	Tin	Zinc
	TW reference Vegetable		0,03	27,50	0,05	45,70	0,20	0,05	1,30	1,22	0,03	70,00	0,33	0,10	0,05	6,10
	Parc des Cormaille	M 2 b	3,3	237,2	98,0	1,9	1,0	66,0	23,8	18,9	4,0	0,0	30,3	640,0	120,8	13,8
	School 6: Port au Lions	M 10	26,0	494,2	120,0	4,4	7,5	192,0	66,2	284,4	9,3	0,0	121,2	3300,0	1339,6	422,5
Exceeding factor	School 3: Orme au chat	M 7	12,0	491,4	62,0	2,1	2,2	158,0	24,6	59,8	3,0	5,9	87,9	1130,0	245,3	90,3
	School 2: Dulcie Septembre	M 8	23,7	304,6	66,0	2,8	6,0	114,0	35,4	129,5	7,3	0,0	63,6	1320,0	584,9	413,6
	Reference: Cimetière	M 16	0,3	128,1	0,4	1,0	0,1	1,0	8,5	0,0	0,3	0,0	0,2	280,0	339,6	0,0
> 100,0	E garden	M 13	36,7	450,3	130,0	8,3	17,0	138,0	43,1	95,1	4,3	0,0	118,2	13040,0	566,0	250,3
50,0 - 100,0	Quai Jean Compagnon	M 12a	11,7	309,6	400,0	5,8	3,3	260,0	42,3	295,9	3,3	0,0	81,8	1250,0	490,6	150,7

Tableau 2 : Les résultats des métaux lourds dans les mousses, les concentrations et la carte thermique - Ivry-sur-Seine et Paris, 2024

comme les niveaux de zinc (Zn) qui sont particulièrement élevés, entre 481 et 23 427. L'arsenic (As), le cobalt (Co), le cuivre (Cu) et le nickel (Ni) ont augmenté d'un facteur supérieur à 100. Les niveaux de cadmium (Cd) sont 10 à 50 fois plus élevés, tandis que les niveaux de mercure (Hg) dépassent la référence d'un facteur de 2,8 à 5,3.

Si l'on compare les résultats aux valeurs limites sûres et les valeurs moyennes pour les légumes, les niveaux d'aluminium (Al), de plomb (Pb) et d'étain (Sn) se révèlent élevés. Les résultats des sites de biosurveillance où l'on a prélevé des mousses montrent que même dans une zone urbaine densément peuplée comme Paris, les 14 métaux lourds analysés exercent une pression de contamination significative. A noter que même sur le site de référence, à savoir le Cimetière d'Ivry, des niveaux élevés de plomb (Pb) et d'étain (Sn) ont été observés. La question se pose donc : Dans quelle mesure les émissions de l'incinérateur sont-elles responsables de ces niveaux élevés ?

Il est important de noter que l'obligation de mesurer les émissions de métaux lourds des incinérateurs de déchets ne s'applique que pendant un nombre limité d'heures par an. En outre, les émissions de métaux lourds produites pendant les périodes d'exploitation exceptionnelles (« conditions d'exploitation autres que normales » ou OTNOC) - ne font pas l'objet de surveillance.

3.2.2. Les métaux lourds dans les sols

Des analyses de 14 métaux lourds ont été effectuées sur des échantillons de sol. Le tableau ci-dessous présente les résultats en milligrammes par kilogramme de poids sec (mg/kg dw). Le deuxième tableau est une carte thermique des métaux lourds, basée sur des données de référence tirées de la documentation scientifique.

Il est intéressant de noter que, alors même qu'il y avait des concentrations extrêmement élevées de métaux lourds dans les mousses, il n'en allait pas de même pour les échantillons de sol, à l'exception de deux écoles, qui présentaient des niveaux élevés d'aluminium (Al) et d'argent (Ag). On a constaté des facteurs de différence par rapport aux autres métaux lourds entre 0,6 et 9,4, mais cela représentait tout de même une augmentation considérable par rapport aux valeurs de référence.

Heavy metals in soil concentrations and heatmap TW reference, Ivry-Paris – Oct. 2024

Heavy metals soil mg/kg dw ub dw															
	Ag	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	
	Silver	Aluminium	Arsenic	Barium	Cadmium	Cobalt	Chromium	Copper	Mercury	Manganese	Nickel	Lead	Tin	Zinc	
Guy Moquet	S1	0.09	114772.00	7.70	111.00	0.28	6.60	32.00	23.00	0.18	417.00	21.00	32.00	3.20	90.00
Dulcie Septembre	S2	0.10	14980.00	8.60	91.00	0.21	6.90	33.00	26.00	0.10	411.00	21.00	32.00	3.20	77.00
Orme au chat	S3	0.72	13390.00	9.80	192.00	0.71	6.80	34.00	68.00	0.29	435.00	35.00	106.00	11.00	273.00
Anne Sylvestre	S4	0.07	13687.00	8.10	84.00	0.35	7.00	29.00	18.00	0.09	458.00	17.00	30.00	1.90	53.00
Robert Desnos	S5	0.11	8009.00	4.00	49.00	0.22	3.80	18.00	23.00	0.06	207.00	32.00	20.00	3.10	82.00
Port au Lyon	S6	0.23	13895.00	7.40	120.00	0.53	6.50	34.00	86.00	0.22	385.00	17.00	68.00	14.00	213.00
Children Daycare	S7	0.57	9551.00	9.30	159.00	1.10	5.50	25.00	85.00	0.31	286.00	21.00	143.00	14.00	330.00

Heatmap heavy metals soil Paris															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
	Ag	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	
24TWS-reference	0.03	4000.00	5.00	22.00	0.31	8.00	13.00	9.00	0.03	500.00	9.80	29.00	2.83	47.00	
Guy Moquet	S1	3.1	28.7	1.5	5.0	0.9	0.8	2.5	2.6	5.5	0.8	2.1	1.1	1.1	1.9
Dulcie Septembre	S2	3.2	3.7	1.7	4.1	0.7	0.9	2.5	2.9	0.8	2.1	1.1	1.1	1.6	
Orme au chat	S3	24.0	3.3	2.0	8.7	2.3	0.9	2.6	7.6	8.8	0.9	3.6	3.7	3.9	5.8
Anne Sylvestre	S4	2.5	3.4	1.6	3.8	1.1	0.9	2.2	2.0	2.8	0.9	1.7	1.0	0.7	1.1
Robert Desnos	S5	3.7	2.0	0.8	2.2	0.7	0.5	1.4	2.6	1.8	0.4	3.3	0.7	1.1	1.7
Port au Lyon	S6	7.7	3.5	1.5	5.5	1.7	0.8	2.6	9.6	6.7	0.8	1.7	2.3	4.9	4.5
Children Daycare	S7	19.0	2.4	1.9	7.2	3.5	0.7	1.9	9.4	9.4	0.6	2.1	4.9	4.9	7.0

Exceeding Factors

	1.5 - 2.0
	2.0 - 5.0
	5.0 - 10.0
	10.0 - 50.0
	50.0 - 100.0
	> 100.0

Tableau 3 : Les résultats des métaux lourds dans les sols, les concentrations et la carte thermique - Ivry-sur-Seine et Paris, 2024

4. La contre-recherche de l'ARS, 2023 sur les œufs de poule issues de poulaillers urbains

À la suite de la publication de l'étude de biosurveillance TW en 2021 sur les dioxines dans les œufs de poule issues de poulaillers urbains à Ivry-sur-Seine (Arkenbout A. & Bouman KJAM, 2021), l'Agence Régionale de Santé Île-de-France (ARS) a mené une étude de suivi (ARS, 2024). L'ARS a confirmé les résultats de ToxicoWatch et a recommandé de ne pas consommer les œufs provenant des poulaillers domestiques des 410 communes de l'agglomération parisienne. Le 15 octobre 2024, TW a eu l'occasion d'examiner l'étude de l'ARS et de présenter ses propres conclusions au bureau de l'ARS.

Les graphiques suivants indiquent les résultats des études de TW et de l'ARS sur les concentrations de dioxine dans le sol et dans les œufs de poule issues de poulaillers urbains. La biosurveillance des dioxines dans le sol réalisée par TW a été menée en 2024-2025. Les résultats des deux études indiquent une charge importante en dioxines à Ivry-sur-Seine. Par conséquent, il est recommandé de poursuivre les recherches afin d'identifier les sources de contamination et de mettre en œuvre des mesures de surveillance efficaces pour lutter contre la pollution causée par les substances extrêmement préoccupantes (SVHC).

L'analyse des émissions provenant de l'incinération des déchets a révélé des niveaux élevés de congénères de dioxines spécifiques préoccupants, notamment : Octachlorodibenzo-p-dioxine (OCDD), 1,2,3,4,6,7,8-Heptachlorodibenzo-p-dioxine (HpCDD), 1,2,3,7,8-Pentachlorodibenzo-p-dioxine (PCDD), et 3,3',4,4',5-Pentachlorobiphényle (PCB 126). En reportant les données d'analyse chimique des œufs de poule issues de poulaillers urbains sur une carte de Paris, on voit clairement que la charge est plus élevée à Ivry-sur-Seine. Cela vient confirmer les résultats de l'étude sur les mesures semi-continues selon le système AMESA (ToxicoWatch, 2023), qui a révélé de nombreux incidents opérationnels et défaillances à l'incinérateur de déchets IPXIII, susceptibles d'avoir provoqué d'importantes émissions de dioxines. Les résultats pour les congénères de dioxines OCDD et PCB 126 sont présentés dans les figures ci-dessous.

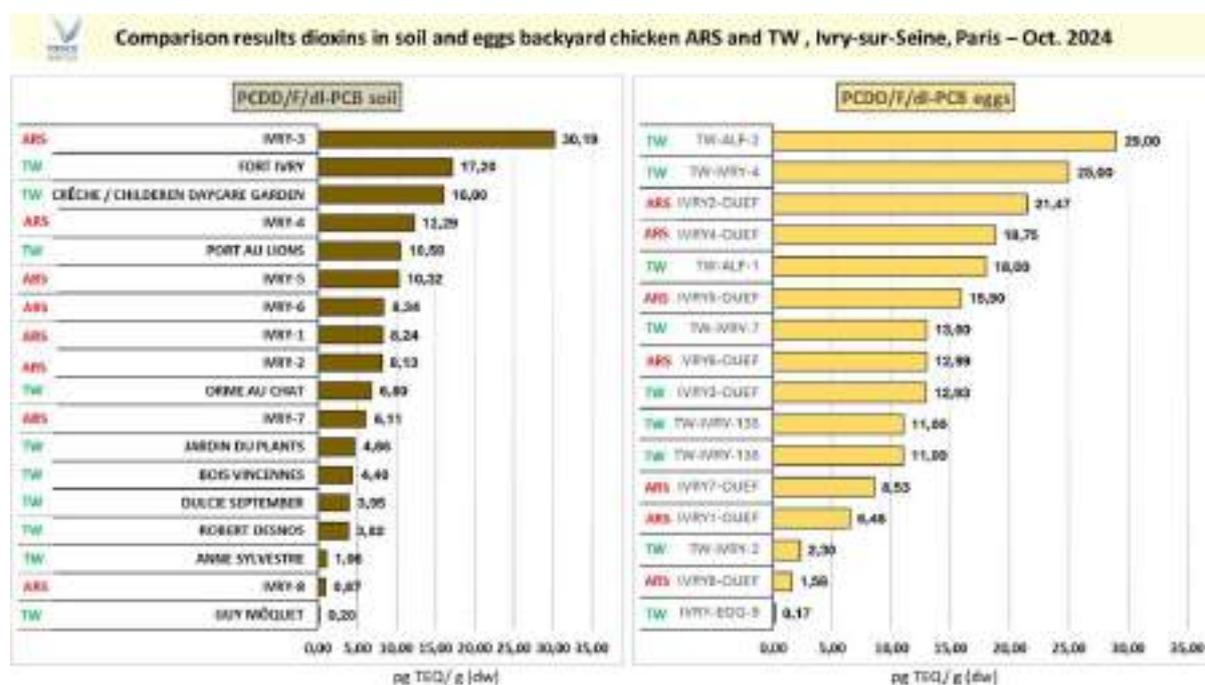


Figure 7: La comparaison des résultats pour les dioxines dans le sol et les œufs de poule de basse-cour par l'ARS and TW, Ivry-sur-Seine et Paris, 2024

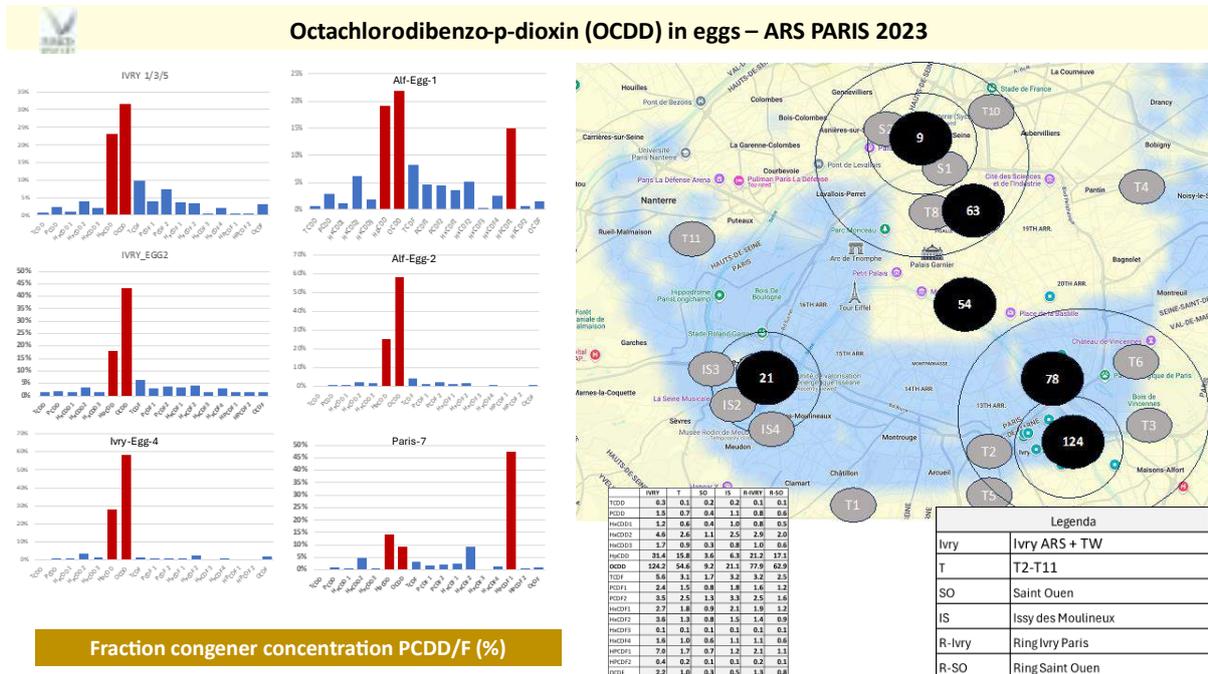


Figure 8 : Octachlorodibenzo-p-dioxine (OCDD) dans les œufs - ARS Paris 2023

Le dl-PCB 126 est un congénère clé associé aux processus de combustion. Sur la carte, de fortes concentrations de dl-PCB 126 sont visibles à Ivry-sur-Seine, tandis que des niveaux nettement plus faibles sont observés dans les zones situées au nord et à l'est d'Ivry-sur-Seine. L'étude de l'ARS a montré une valeur aberrante extrêmement élevée de 128 pg TEQ/g pour les PCB de type dioxine, qui est exclue des comparaisons visuelles dans les figures ci-dessous en raison de son impact disproportionné sur l'échelle.

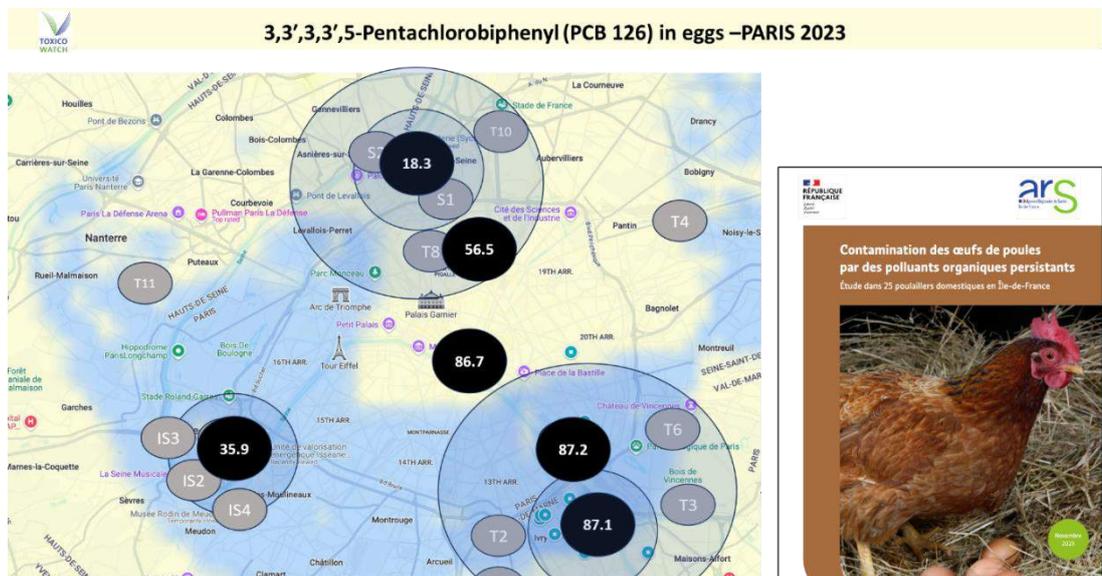


Figure 9 : 3,3',3,3',5- Pentachlorobiphényle (PCB 126) dans les œufs - Paris 2023



5. Conclusion

La première étude de biosurveillance TW initiée en 2021 à Ivry-sur-Seine, s'est concentrée sur les dioxines dans les œufs de poule issues de poulaillers urbains. Les niveaux excessifs de dioxines détectés dans ces échantillons ont suscité l'inquiétude du public et des pouvoirs publics. En réponse, l'Agence régionale de santé (ARS) a mené une étude plus large dans toute la région parisienne, identifiant des niveaux élevés de dioxines et de PFAS dans les œufs.

En se basant sur les résultats de l'ARS, on peut produire un schéma de distribution spatiale des dioxines et des substances de type dioxine pour la zone étudiée. Les émissions provenant de l'incinération des déchets sont généralement associées à des niveaux élevés des congénères de dioxines suivants liés à la combustion : octachlorodibenzo-p-dioxine (OCDD), 1,2,3,4,6,7,8-heptachlorodibenzo-p-dioxine (HpCDD), 1,2,3,7,8-pentachlorodibenzo-p-dioxine (PCDD) et 3,3',4,4',5- pentachlorobiphényle (PCB 126). C'est à Ivry-sur-Seine que ces congénères sont les plus élevés. Ces résultats sont cohérents avec l'étude de mesure semi-continue de l'incinérateur IPXIII (TW 2023), qui a rapporté jusqu'à 7 000 heures de dépassement sur une période de deux ans. Ces événements sont liés à des conditions de fonctionnement autres que normales (OTNOC), plus susceptibles de produire des émissions toxiques, y compris les dioxines, les métaux lourds et les PFAS.

La deuxième phase de l'étude de biosurveillance en octobre 2024 et février 2025 s'est concentrée sur les mousses (*bryophytes*), la végétation à feuilles persistantes et les échantillons de sol prélevés dans les cours de récréations d'écoles primaires d'Ivry-sur-Seine et de Charenton. Les résultats indiquent une contamination généralisée à la dioxine dans certaines parties de Paris.

A noter que même le Jardin des Plantes, situé à 2,5 km au nord de l'incinérateur IPXIII, s'est révélé contaminé par des dioxines et des métaux lourds dans les mousses et la végétation. La plus forte concentration de dioxines dans la mousse a été enregistrée dans une école primaire située à 780 mètres à l'ouest de l'incinérateur, malgré de faibles niveaux de dioxines dans le sol. Inversement, une école primaire située à 200 mètres au sud de l'incinérateur présentait une faible contamination des mousses mais des niveaux élevés de dioxine dans le sol. La plupart des écoles présentaient des niveaux élevés de dioxines à la fois dans la mousse et dans le sol. Seule une (1) école sur sept (7) a pu être classée comme « propre » avec de faibles taux de dioxines dans les échantillons de mousse et de sol prélevés en octobre 2024 et février 2025. Cependant, la présence de métaux lourds dans la mousse reste une préoccupation importante, car elle reflète les dépôts de POP dans l'air.

Tous les métaux lourds mesurés [14] étaient élevés dans les échantillons de mousse. Une comparaison avec les limites de sécurité alimentaire établies a révélé des dépassements généralisés. La présence de dioxines et de métaux lourds dans la mousse souligne la nécessité urgente de poursuivre les recherches et la surveillance.

Les données de biosurveillance montrent clairement qu'Ivry-sur-Seine est gravement contaminée par les dioxines et les métaux lourds, les écoles étant identifiées comme des sites particulièrement vulnérables.

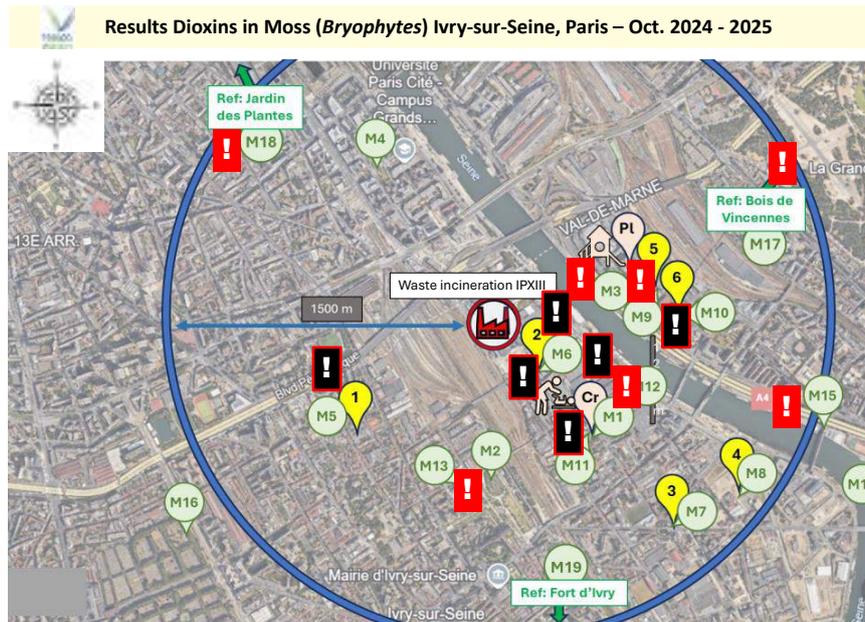


Figure 10 : Les résultats des dioxines dans les mousses, Ivry-sur-Seine et Paris, 2024 - 2025

Références

- Arkenbout A., Bouman KJAM. (2023). Emissions cachées de l'incinérateur de déchets IVRY-PARIS XIII, AMESA Mesures Semi-Continues 2020 – 2021, Zero Waste Europe, version française C3R, ToxicoWatch.
- Arkenbout A., Bouman KJAM (2021). Recherche en biosurveillance Paris / Ivry-sur-Seine 2021, version française C3R ToxicoWatch.
- Knutsen, H. K., *et al* (2018)). Risk for animal and human health related to the presence of dioxins and dioxin-like PCBs in feed and food. EFSA Journal, 16(11). EFSA 2018, page 275. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5333>
- Alkorta, I., Garbisa, C. (2001). Phytoremediation of organic contaminants in soils. Bioresource Technology, Volume 79, Issue 3, 2001, Pages 273-276,
- Viluksela, M., & Pohjanvirta, R. (2019). Multigenerational and Transgenerational Effects of Dioxins. International Journal Of Molecular Sciences, 20(12), 2947. <https://doi.org/10.3390/ijms20122947>
- Arkenbout, A. (Red.). (z.d.). Emission regimes of POPs of a Dutch incinerator : Regulated, measured and hidden issues.
- Guidelines on Best Available Techniques and Provisional Guidance on Best Environmental Practices relevant to Article 5 and Annex C of the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants (2008). Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants.
- Young, A.S. *et al.*, (2021). Env. Health Perspect. 129 (4), 047010-1 to 047010-13.
- Corsini, E., *et al.* (2014). Perfluorinated compounds : Emerging POPs with potential immunotoxicity. Toxicol. Lett.
- Sunderland EM. (2019). Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology (2019) 29 :131–147
- <https://www.rivm.nl/en/pfas>

- Règlement (UE) 2023/915 de la Commission du 25 avril 2023 concernant les teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires, https://publications.europa.eu/resource/ellar/791311ae-eae0-11ed-a05c-01aa75ed71a1.0009.01/DOC_1
- Behnisch P.A. *et al.* (2021). Developing potency factors for thyroid hormone disruption by PFAS using TTR-TR β CALUX[®] bioassay and assessment of PFAS mixtures in technical products, *Environment International* 157, 106791
- RIVM, (2025). National Institute for Public Health and the Environment, Ministry of Health, Welfare and Sport, <https://www.rivm.nl/en/pfas>
- EFSA : <https://www.efsa.europa.eu/en/topics/per-and-polyfluoroalkyl-substances-pfas>
- EFSA (2018). Appendix A, page 275, Knutsen, H. K., *et al* (2018)). Risk for animal and human health related to the presence of dioxins and dioxin-like PCBs in feed and food. *EFSA Journal*, 16(11). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5333>
- Jovan S, *et al.* (2024). Putting biomonitors to work: native moss as a screening tool for solid waste incineration. *Environ Monit Assess.* 2024 Nov 7;196 (12) : 1177.
- Musilová, J., *et al.* (2024). Impact of old environmental burden in the Spiš region (Slovakia) on soil and home-grown vegetable contamination, and health effects of heavy metals. *Sci Rep* 12, 16371 (2022). 8
- Qarri, F.*et al.* (2019). The Evaluation of Air Quality in Albania by Moss Biomonitoring and Metals Atmospheric Deposition. *Arch Environ Contam Toxicol* 76, 554–571 (2019). <https://doi.org/10.1007/s00244-019-00608-x>
- Matos TM, Cruz R, Peralta DF, Melo-de-Pinna GFA et Santos DYAC (2022) Cuticle structure and chemical composition of waxes in *Phaeoceros laevis* (L.) Prosk (*Notothyladaceae*, *Anthocerotophyta*). *Front. Plant Sci.* 13 :785812. doi : 10.3389/fpls.2022.785812
- Directive 2004/109/CE du Parlement européen et du Conseil du 7 mai 2002 à propos des substances indésirables dans les aliments pour animaux.
- ARS (2023). RAPPORT - Contamination des œufs de poule par des polluants organiques persistants - Novembre 2023 0,
- Convention BRS (2025), site web <https://chm.pops.int/Implementation/IndustrialPOPs/PFAS/Overview/tabid/5221/Default.aspx>

Liste des figures

Figure 1 : L’incinérateur de déchets Ivry-Paris XIII, 15 octobre 2024	6
Figure 3 : Les sites d’échantillonnage, Ivry-sur-Seine et Paris, oct. 2024 - févr. 2025	10
Figure 4 : Une vue d’ensemble de l’échantillonnage des mousses – 2024.....	11
Figure 5 : Les sites d’échantillonnage des mousses (Bryophytes – Ivry-sur-Seine et Paris, octobre 2024 et février 2025.....	12
Figure 6 : Les dioxines dans les sols des cours de récréation à Ivry-sur-Seine 2024	14
Figure 7 : Les dioxines et les dl-PCB dans les sols des cours de récréation à Ivry-sur-Seine et aux sites de référence à Paris, 2024	15
Figure 8: La comparaison des dioxines (PCDD/F) dans les sols et les mousses - Ivry-sur-Seine et Paris, 2024.....	15
Figure 9 : Les dioxines (PCDD/F) dans les aiguilles de pin, et les arbres à feuilles persistantes à Ivry-sur-Seine et Paris, octobre 2024 et février 2025	16
Figure 10: La comparaison des résultats pour les dioxines dans le sol et les œufs de poule de basse-cour par l’ARS and TW, Ivry-sur-Seine et Paris, 2024	19
Figure 11 : Octachlorodibenzo-p-dioxine (OCDD) dans les œufs - ARS Paris 2023.....	20
Figure 12 : 3,3',3,3',5- Pentachlorobiphényle (PCB 126) dans les œufs - Paris 2023	20
Figure 13 : Les résultats des dioxines dans les mousses, Ivry-sur-Seine et Paris, 2024 - 2025	22

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les résultats des dioxines dans les mousses exprimés en poids humide et en 88 % de poids sec (dw) (DR CALUX)	12
Tableau 2 : Les résultats des métaux lourds dans les mousses, les concentrations et la carte thermique - Ivry-sur-Seine et Paris, 2024	17
Tableau 3 : Les résultats des métaux lourds dans les sols, les concentrations et la carte thermique - Ivry-sur-Seine et Paris, 2024	18

Annexe 1 : Les résultats des laboratoires

Annexe 2 : Les plafonds et niveau and niveaux d'intervention d'après la législation européenne

Annexe 3 : La végétation et les résultats