

Contamination des œufs de poules par des polluants organiques persistants

Étude dans 25 poulaillers domestiques en Île-de-France



Novembre
2023

SOMMAIRE

INTRODUCTION	4
CHAPITRE 1 DIOXINES, FURANES, POLYCHLOROBIPHÉNYLES	5
CHAPITRE 2 SUBSTANCES PER- ET POLYFLUOROALKYLÉES	37
CHAPITRE 3 ANALYSE STATISTIQUE DES RÉSULTATS	43
CHAPITRE 4 CONCLUSION GÉNÉRALE	64
ACRONYMES	67
LISTE DES TABLEAUX	68
CARTOGRAPHIE DES SITES	69

Suite à la publication menée par l'ONG Toxicowatch en février 2022 montrant une contamination des œufs issus de poulaillers domestiques, l'Agence Régionale de Santé Île-de-France s'est engagée en 2022 à réaliser une étude sur trois familles de polluants organiques persistants (POP) : les dioxines (PCDD), les furanes (PCDF) et les polychlorobiphényles (PCB), afin de déterminer s'il existe un risque de surexposition à ces familles de polluants lié à la consommation d'œufs d'élevages domestiques, nécessitant des mesures de gestion sanitaire.

La réalisation de cette étude a été confiée :

- D'une part au bureau d'études HPC Envirotec, en charge de définir le plan d'échantillonnage, de réaliser les investigations de terrain et les prélèvements et de mener l'interprétation des résultats
- D'autre part au LABERCA, laboratoire national de référence pour les polluants organiques persistants pour la réalisation des analyses sur les échantillons de sol et d'œufs.

L'étude poursuivait trois objectifs principaux :

- Comparer les niveaux de contamination des sols et œufs de poulaillers d'une part situés à proximité d'incinérateurs de déchets et d'autre part considérés comme hors influence de toute source fixe connue d'émissions de dioxines et furanes ;
- Observer les éventuelles relations entre la contamination des œufs et la pollution du sol des parcours accessibles aux poules ;
- Documenter les caractéristiques du poulailler et les pratiques d'élevage susceptibles d'influer sur les niveaux de contamination observés dans les œufs (facteurs de risque).

Faisant suite à la publication par la préfecture du Rhône en février 2023 de résultats d'investigations menées autour de l'agglomération de Lyon ayant mis en évidence une contamination d'œufs de poule par des substances per- et polyfluoroalkylées (PFAS), l'ARS Île-de-France a demandé, fin mars 2023, au LABERCA de compléter l'étude francilienne avec la recherche de cette famille de polluants organiques persistants dans les échantillons de sol et d'œufs conservés après les premières analyses. Les résultats bruts ont été remis à l'ARS en mai 2023. L'interprétation des résultats a été achevée en août 2023.

Enfin, une analyse statistique des résultats des investigations de terrain et de laboratoire a été entreprise, en septembre 2023, à l'aide de différentes méthodes d'analyses statistiques, appliquées sur le logiciel IBM SPSS. Cette analyse statistique vise à tester différentes hypothèses pouvant expliquer les variations de contamination des sols et des œufs en fonction de l'existence ou non des facteurs de risque ou bonnes pratiques recensées dans d'autres études françaises. Les résultats qui en sont tirés contribuent à conforter ces hypothèses mais ne permettent pas de tirer des conclusions définitives sur les facteurs de risque, en raison des limites inhérentes à ce type d'exercice lorsqu'il est appliqué sur un nombre limité d'échantillons.

Les recommandations sanitaires, établis sur ces résultats, ont fait l'objet d'une relecture par différents experts régionaux et nationaux en octobre 2023

CHAPITRE 1



**DIOXINES,
FURANES,
POLYCHLOROBIPHÉ-
NYLES**





Document établi par :

HPC Envirotec SASU

contact@hpc-envirotec.com

Siège social : 1 rue Pierre Marzin - CS 83001
35 230 SAINT-ERBLON

Rapport d'étude

Référence	Version	Date
HPC-F 2A/2.22.5670 a	1	23 août 2023

Evaluation de la contamination des œufs de poules issus de poulaillers domestiques franciliens en polluants organiques persistants (POP)

Prélèvements d'œufs de poule et de sols superficiels pour analyses des dioxines/furanes et des PCB

Client
ARS Île-de-France



HPC ENVIROTEC SASU

Siège social : 1 rue Pierre Marzin - CS 83001 - Noyal Châtillon sur Seiche - 35230 SAINT ERBLON
Capital : 204 000 € - RCS RENNES B 383 974 292 - APE 7112B - SIRET 383 974 292 00104
TVA Intra : FR67383974292 - IBAN : FR49 3000 2080 2600 0046 0468 H22

Contact : contact@hpc-envirotec.com

Secteur Nord-Ouest : 02 99 13 14 50 - Secteur IDF : 01 80 79 02 00 - Secteur Sud : 04 88 19 20 80 - Secteur Nord-Est : 03 87 15 47 55



Fiche d'identification et de suivi du document

Projet

Client :	ARS Ile-de-France
Site :	Evaluation de la contamination des œufs de poules issus de poulaillers domestiques franciliens en polluants organiques persistants (POP)
Référence projet :	2.22.5670

Document

Identification

Titre / objet du document :	Prélèvements d'œufs de poule et de sols superficiels pour analyses des dioxines/furanes et des PCB		
Type de document :	Référence du document :	Version :	Date :
Rapport d'étude	HPC-F 2A/2.22.5670 a	1	23 août 2023

Rédaction et validation

	Rédacteur :	Vérificateur :	Approbateur :
Nom :	Antoine AZÉ	Anne PELTIER	
Date :	23/08/2023	23/08/2023	
Signature :			

Historique des versions

Version :	Date :	Objet :
0	10 juillet 2023	Première émission du document
1	23 août 2023	Deuxième émission du document : prise en compte des commentaires de l'ARS-IDF

Avertissement :

Ce document est protégé, et propriété exclusive d'HPC Envirotec SASU. Il est rédigé exclusivement à destination du Client ci-dessus nommé, en réponse et dans le cadre des objectifs contractuels fixés. Il se limite à l'emprise de la zone étudiée. Les conséquences des décisions prises suite aux recommandations de ce rapport, ne peuvent en aucun cas être imputées à HPC Envirotec.

Le rapport et ses annexes constituent un tout indissociable. Toute modification et/ou toute utilisation partielle de ce document ou de ses données, ainsi que toute interprétation dépassant strictement les recommandations émises, ne sauraient engager la responsabilité d'HPC Envirotec.

D'une façon générale, les études liées au sous-sol se basent sur des sondages, associés à des interprétations et probabilités. Quelle que soit la qualité des prestations, un aléa subsiste nécessairement du fait du caractère ponctuel des sondages, réalisés à un instant donné et en nombre limité, au regard de la nature hétérogène et évolutive dans le temps des sous-sols. Les conclusions mentionnées dans le rapport ne peuvent donc constituer, pour le Client ou pour des tiers, une garantie d'absence d'aléa ou de découverte imprévue après la remise du rapport.

Ce rapport a été établi en se basant sur l'état de la réglementation et des connaissances techniques et scientifiques disponibles à la date de son émission, ainsi que sur les informations et documents fournis à HPC Envirotec par le Client dans le cadre de la mission, présumés fiables et exhaustifs. HPC Envirotec ne peut être rendu responsable des conséquences liées à la fourniture par le Client d'une information incomplète ou erronée, et/ou d'une évolution de la réglementation ou des connaissances techniques et scientifiques qui interviendrait postérieurement à l'émission du rapport.

Sommaire

1.	Contexte et objectif de l'étude	5
2.	Avant-propos	6
2.1.	Polluants Organiques Persistants (POP)	6
2.2.	Dioxines/furanes et PCB	6
2.2.1.	Définitions	6
2.2.2.	Origine et source	7
2.2.3.	Voie d'exposition et effet sur la santé humaine	7
2.2.4.	Voie de transfert (œufs de poule)	7
3.	Investigations de reconnaissance	8
3.1.	Stratégie des investigations	8
3.2.	Description des investigations	9
3.3.	Mode opératoire d'échantillonnage	9
3.4.	Programme analytique	10
4.	Interprétation des résultats	11
4.1.	Choix des outils d'interprétation	11
4.1.1.	Sols superficiels	11
4.1.2.	Œufs de poule	11
4.2.	Résultats et interprétations	12
4.2.1.	Sols superficiels	12
4.2.2.	Œufs de poule	14
4.3.	Conclusion résultats	17
4.4.	Limites de l'étude	18
4.5.	Comparaison des résultats avec l'étude ToxicoWatch	19
5.	Réflexion sur l'origine des POP dans les œufs	20
5.1.	Comparaison de composition des mélanges dioxines/furanes	20
5.1.1.	Profils des incinérateurs d'ordures ménagères en dioxines/furanes	20
5.1.2.	Profils des sols superficiels investigués	22
5.1.3.	Ratios dioxines/furanes	24
5.1.4.	Comparaison des profils dioxines/furanes rejets incinérateurs / sols superficiels	25
5.2.	Relation sols superficiels / œufs	25
5.2.1.	Evaluation de relations sols superficiels / œufs	25
5.2.2.	Conclusions sur la relation sols superficiels / œufs	27
5.3.	Facteurs de risques de contamination	27
5.3.1.	Principaux facteurs de risques issus de la littérature	27
5.3.2.	Conclusions sur les facteurs de risques de contamination	28
6.	Compatibilité sanitaire de l'autoconsommation	29
7.	Conclusion	32

1. Contexte et objectif de l'étude

Suite à la réalisation d'une étude environnementale effectuée en 2021 par la fondation ToxicWatch (rapport publié en février 2022) mettant en évidence la présence de polluants organiques persistants (POP) de type dioxines/furanes (PCDD-F) et polychlorobiphényles (PCB) à des teneurs significatives au sein d'œufs de poule issus de poulaillers domestiques présents à proximité de l'usine d'incinération d'ordures ménagères d'Ivry-sur-Seine (94), l'Agence Régionale de Santé d'Ile-de-France (ARS-IDF) a souhaité réaliser une nouvelle étude portant sur le risque d'exposition humaine au travers des analyses de contamination des œufs de poule issus d'élevages domestiques localisés à proximité de zones d'influence de sources fixes connues d'émission de dioxines/furanes mais également au sein d'élevages localisés en dehors de celles-ci.

Cette étude porte uniquement sur le risque d'exposition humaine au travers des analyses de contamination des œufs de poule issus d'élevages non professionnels regroupant 3 modes de gestion, à savoir :

- ↳ les poulaillers gérés par des particuliers (poulailler présent au sein d'un jardin privé),
- ↳ les poulaillers gérés collectivement (poulailler présent au sein d'un jardin partagé public ou privé),
- ↳ les poulaillers dont la gestion est déléguée à un tiers au sein d'un établissement recevant du public (ERP) tels qu'une école, un EHPAD, une ferme pédagogique et autres centres culturels.

Dans le cadre de cette étude, l'ARS Ile-de-France a mandaté notre société HPC Envirotec pour la réalisation de prélèvements d'échantillons de denrées alimentaires (œufs de poule) et de sols superficiels au sein de plusieurs poulaillers recensés en région parisienne dans le but de déterminer, après l'analyse de ces matrices par le laboratoire LABERCA (laboratoire agréé), si une pollution diffuse en dioxines/furanes (PCDD-F) et/ou en polychlorobiphényles (PCB) est constatée et si la compatibilité sanitaire est respectée pour les usages recensés (autoconsommation des œufs de poule).

Cette mission (de type DIAG ^(*)) a été réalisée conformément à la norme NFX 31-620-2 « *Prestations de services relatives aux sites et sols pollués (étude, ingénierie, réhabilitation de sols pollués et travaux de dépollution)* » de l'AFNOR (décembre 2021) ainsi qu'à la méthodologie définie dans la note du Ministère chargé de l'Environnement du 19 avril 2017 et les guides associés. Elle comprend les prestations suivantes :

- ↳ « Elaboration et mise en place d'un programme d'investigations » (mission A130 ^(*)),
- ↳ « Prélèvements, mesures, observations et/ou analyses sur les sols superficiels » (mission A200 ^(*)),
- ↳ « Prélèvements, mesures et analyses sur les denrées alimentaires (œufs de poule) » (mission A250 ^(*)),
- ↳ « Interprétation des résultats des investigations » (mission A270 ^(*)),
- ↳ Rapport d'étude.

^(*) : codification des prestations dans la norme NFX 31-620-2 de décembre 2021.

Ainsi, le présent rapport a pour but de présenter les protocoles de prélèvements appliqués ainsi que les résultats d'analyses et les interprétations associées à la suite des investigations menées **entre le 8 et le 17 février 2023** sur les milieux d'exposition sols superficiels et denrées alimentaires (œufs de poule) au droit de **25 poulaillers domestiques** localisés dans l'agglomération centrale de la région parisienne. En complément, une analyse sera également réalisée afin de vérifier s'il est possible d'identifier d'éventuelles corrélations avec les sources d'émission de POPs connues (sur la base de la littérature existante) et d'identifier d'éventuels facteurs (environnementaux et pratiques d'élevage) susceptibles d'influencer les résultats obtenus.

2. Avant-propos

2.1. Polluants Organiques Persistants (POP)

Les polluants organiques persistants (POP) résultent des rejets dans l'environnement par les activités humaines, depuis plusieurs dizaines d'années mais également de manière naturelle (incendie de forêts). Persistants, ils se dégradent lentement et s'accumulent dans la chaîne alimentaire, principalement dans les graisses animales. Ces substances présentent des niveaux de toxicité variable, pouvant provoquer des effets nocifs : troubles de la reproduction, troubles neurocomportementaux, altération du système immunitaire, interférence avec le système hormonal et risque de cancer.

Les principaux polluants organiques persistants sont les dioxines/furanes (PCDD-F), les polychlorobiphényles (PCB), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les composés perfluorés (PFC) et les pesticides.

Parmi les différentes familles de polluants organiques persistants précitées, seuls les dioxines/furanes (PCDD-F) et les polychlorobiphényles (PCB) ont été traités dans la suite du présent rapport conformément à la demande de l'ARS-IDF.

2.2. Dioxines/furanes et PCB

2.2.1. Définitions

Les dioxines (PCDD) et furanes (PCDF) regroupent plus de 200 congénères (structure moléculaire et propriété similaires), parmi lesquels, seuls les congénères considérés comme les plus toxiques et les plus présents dans l'environnement et les organismes vivants sont régulièrement dosés : 7 PCDD et 10 PCDF.

Les polychlorobiphényles (PCB) regroupent 209 congénères qui se distinguent en deux types de PCB sur la base de leur mécanisme d'action :

- ↳ les PCB « Dioxine-Like » ou PCB-DL qui possèdent un mécanisme d'action intracellulaire similaire à celui des dioxines/furanes et qui ont été classés sous l'appellation PCB de type dioxine. Parmi les PCB-DL, seuls les congénères considérés comme les plus toxiques et présents dans l'environnement et les organismes vivants, sont régulièrement dosés : 12 PCB-DL,
- ↳ les PCB « Non Dioxine-Like » ou PCB-NDL qui agissent via un mécanisme d'action intracellulaire différent de celui des dioxines. Ils sont représentés par la somme de 6 PCB-NDL principaux dits « indicateurs » qui correspondent à la moitié de la quantité totale de PCB-NDL présents dans les denrées alimentaires et les aliments pour animaux. Cette somme est considérée comme un marqueur adéquat de la présence de PCB autres que ceux de type dioxine.

L'ensemble des dioxines/furanes et PCB régulièrement dosés et considérés comme les plus toxiques et présents dans l'environnement et les organismes vivants est synthétisé dans le tableau ci-dessous :

Dioxines (PCDD)	Furanes (PCDF)	Polychlorobiphényle (PCB)	
		PCB Dioxine-Like (DL)	PCB Non-Dioxine Like (NDL)
2.3.7.8-TCDD 1.2.3.7.8-PeCDD 1.2.3.4.7.8-HxCDD 1.2.3.6.7.8-HxCDD 1.2.3.7.8.9-HxCDD 1.2.3.4.6.7.8-HpCDD OCDD (7 congénères)	2.3.7.8-TCDF 1.2.3.7.8-PeCDF 2.3.4.7.8-PeCDF 1.2.3.4.7.8-HxCDF 1.2.3.6.7.8-HxCDF 1.2.3.7.8.9-HxCDF 2.3.4.6.7.8-HxCDF 1.2.3.4.6.7.8-HpCDF 1.2.3.4.7.8.9-HpCDF OCDF (10 congénères)	PCB 77 PCB 81 PCB 126 PCB 169 PCB 105 PCB 114 PCB 118 PCB123 PCB 156 PCB 157 PCB 167 PCB 189 (12 congénères)	PCB 28 PCB 52 PCB 101 PCB 138 PCB 153 PCB 180 (6 congénères)

2.2.2. Origine et source

Les principales origines de polluants environnementaux proviennent pour :

- ↳ les dioxines (PCDD) et furanes (PCDF) de l'incinération de déchets (ménagers et/ou industriels) et de certains procédés industriels (industrie chimique, métallurgique,...),
- ↳ les polychlorobiphényles (PCB) de molécules chimiques de synthèse massivement utilisées entre 1930 et 1970 comme lubrifiants, peintures, huiles et autres produits chimiques et dans la fabrication de transformateurs électriques.

Les principales sources de polluants environnementaux retrouvées habituellement dans les sols proviennent pour :

- ↳ les dioxines/furanes (PCDD-F) :
 - de rejets d'incinérateurs d'ordures ménagères notamment d'ancienne génération (avant la mise aux normes suite à l'Arrêté Incinération du 20 septembre 2002),
 - de pratiques locales actuelles et/ou anciennes de brûlage de déchets divers à l'air libre,
 - d'émissions liées à la circulation routière.
- ↳ les polychlorobiphényles (PCB) :
 - de résidus d'anciens déchets industriels et/ou de produits chimiques (déchets de démolitions, peintures, huiles de transformateurs électriques,...) présents au sein des remblais,
 - certains produits chimiques appliqués sur d'anciens revêtements toujours en place (bâti, murs en béton,...) qui se désagrègent avec le temps et que l'on peut retrouver dans les sols superficiels après ruissellement.

De manière générale, l'origine de la présence de ces substances dans les sols n'est donc pas parfaitement connue ni maîtrisée en raison de l'absence d'information sur les origines et les sources susceptibles de contenir ou d'émettre ces POP.

2.2.3. Voie d'exposition et effet sur la santé humaine

Les dioxines, furanes et PCB présentent une grande stabilité à la chaleur, sont peu biodégradables et ont une forte affinité pour les graisses. Ces molécules vont s'accumuler après ingestion dans les tissus graisseux tout le long de la chaîne alimentaire contaminant ainsi les viandes, les poissons, les crustacés, le lait, les produits laitiers et les œufs riches en graisse. L'alimentation de produits d'origine animale constitue la principale voie d'exposition pour la population générale (> 90%).

La consommation régulière d'aliments contaminés par des dioxines/furanes et des PCB entraîne une imprégnation progressive de l'organisme qui peut avoir des effets sur la santé à long terme, comme une augmentation du risque de cancer, de troubles de la fertilité et de la grossesse, d'effets métaboliques comme le diabète par exemple et des effets perturbateurs endocriniens.

Il n'existe aucun traitement pour éliminer ces substances de l'organisme. La principale mesure de prévention consiste à éviter la consommation de produits alimentaires les plus contaminés.

2.2.4. Voie de transfert (œufs de poule)

La présence de POP dans les œufs de poules élevées dans des poulaillers domestique s'explique principalement par un transfert de la contamination des sols en raison du comportement des poules conduisant à une ingestion variable de matrices environnementales (sols, végétaux, lombrics, insectes, eau de pluie...).

Une autre voie de transfert possible correspond aux aliments issus du commerce donnés aux volailles (notamment les grains et granulés). Néanmoins, la réglementation Européenne fixe des limites maximales de certains POP dans les aliments pour animaux. Les teneurs observées dans ces aliments sont souvent très inférieures à ces maxima réglementaires. Le transfert par cette voie est donc vraisemblablement limité.

A titre indicatif, plusieurs études conduites en France et à l'étranger, référencées par l'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire (ANSES) font apparaître que les œufs des élevages familiaux présentent fréquemment des concentrations en dioxines/furanes et en PCB plus élevées que les œufs des élevages professionnels.

De plus, cet organisme indique que ces valeurs élevées ont également été observées dans des œufs issus d'élevages de volailles en plein-air de particuliers sans que la proximité des sources industrielles puisse les expliquer.

3. Investigations de reconnaissance

3.1. Stratégie des investigations

Les investigations ont été orientées afin d'évaluer les zones susceptibles d'être concernées par une pollution diffuse en polluants organiques persistants (POP) de type dioxines/furanes (PCDD-F) et polychlorobiphényles (PCB) à l'échelle de l'agglomération parisienne, via l'analyse des milieux d'exposition sols superficiels et denrée alimentaire (œufs de poule).

Conformément à la demande de l'ARS-IDF, la zone considérée dans la présente étude correspond à l'emprise de la « petite couronne » de la région parisienne (contexte urbain dense de l'agglomération parisienne).

Le programme d'investigations élaboré par l'ARS Île-de-France comprend la réalisation de prélèvements de sols superficiels représentatifs du parcours quotidien estimé des poules (voie de transfert potentielle via l'ingestion de sols contaminés par les volailles) et d'œufs de poule au droit de **25 sites** répartis selon la stratégie suivante :

- ↳ **14 sites** considérés comme présent au sein de zones **sous influence potentielle de sources dont on admet qu'elles rejettent des émissions de dioxines/furanes** dont :
 - **8 sites** situés à proximité de l'incinérateur d'ordures ménagères d'Ivry-sur-Seine (94), dont si possible l'ensemble des poulaillers investigués lors de la précédente étude menée par Toxicowatch en 2021,
 - **6 sites** situés à proximité des incinérateurs d'ordures ménagères d'Issy-les-Moulineaux (92) et de Saint-Ouen (93),
- ↳ **11 sites** considérés comme étant **éloignés de zones sous influence potentielle de sources connues d'émissions de dioxines/furanes**.

La notion de « zone sous influence » correspond à un périmètre considéré selon un rayon d'action prédéfini. Dans notre étude, cette portée spécifique détermine les retombées maximales considérées en émissions de dioxines/furane selon une source de rejets connue (incinérateurs d'ordures ménagères et/ou autres sources industrielles).

Ce rayon d'action a été défini par l'ARS Île-de-France à 3,0 km sur la base des éléments suivants :

- ↳ l'étude Airparif de 2018 « étude des dioxines » indiquant que les zones de retombées maximales des incinérateurs d'ordures ménagères de Ivry-sur-Seine et de Saint-Ouen se situent entre 600 m et 1,0 km de distance,
- ↳ les résultats de la surveillance environnementale de l'incinérateur d'Ivry-sur-Seine ne mettant pas en évidence de différence significative, pour les mesures de retombées, entre les points de surveillance sous influence des vents dominants et secondaires au-delà d'un rayon de 3 km ni pour les points de surveillance à plus de 5 km,
- ↳ le poulailler le plus éloigné de l'étude Toxicowatch se situait à 2,8 km de l'incinérateur d'Ivry-sur-Seine.

Sur la base de ces différents éléments, la distance de 3,0 km a été retenue pour la définition des zones considérées comme étant sous influence de sources fixes d'émission connues de dioxines/furane.

De plus, des zones dites « zones de bidonvilles » où est susceptible d'être pratiqué le brûlage à l'air libre de divers déchets peuvent aussi être considérées comme sources d'émissions. Un rayon d'action de 500 m autour de ces zones a été estimé comme étant sous l'influence directe des retombées de ces brûlages de faible volume (zones non indiquées sur les cartographies présentes en annexes mais prises en compte).

La stratégie de sélection mise en place en collaboration avec l'ARS-IDF et notre bureau d'étude a consisté :

- ↳ à répertorier les secteurs géographiques sous influence potentielle d'émission connues de dioxines/furanes et les secteurs géographiques éloignés de celles-ci via l'outil cartographie « Santégraphie » fourni par l'ARS Île-de-France permettant le recensement de l'ensemble des sources potentielles connues émettrices de dioxines en région parisienne,
- ↳ à recenser, positionner puis sélectionner un nombre de 25 sites (poulaillers domestiques) par rapport aux secteurs géographiques prévus dans le programme d'investigation initial défini par l'ARS.

Dans un 1^{er} temps, 80 communes les plus denses de la petite couronne parisienne ont été consultées afin de recenser des poulaillers domestiques (particuliers, jardins partagés, associatifs...) présents dans la zone à l'étude. Une centaine de poulaillers ont pu être répertoriés et identifiés. Sur cette base, 25 sites ont été sélectionnés au regard de leur localisation ainsi que des contraintes liées au faible niveau de ponte en période hivernale puis validés après une prise de contact avec leur gestionnaire.

Les sites ainsi sélectionnés ont été répartis de la manière suivante (voir plan de localisation des investigations en annexe 1.1) :

- ✎ **14 sites** considérés **sous influence potentielle de sources connues d'émissions de dioxines/furanes** :
 - à proximité de l'incinérateur d'ordures ménagères d'Ivry-sur-Seine (94) : **8 sites** (nommés **Ivry1 à Ivry8**) présents sur les communes de Alfortville (94), Maisons Alfort (94), Ivry-sur-Seine (94) et le XII^{ème} arrondissement de Paris, dont 6 sites investigués lors de la précédente étude menée par Toxicowatch en 2021,
 - à proximité de l'incinérateur d'ordures ménagères d'Issy-les-Moulineaux (92) : **4 sites** (nommés **Issy1 à Issy4**) présents sur les communes de Meudon (92) et d'Issy-les-Moulineaux (92),
 - à proximité de l'incinérateur d'ordures ménagères de Saint-Ouen (93) : **2 sites** (nommés **Saint-Ouen 1 et Saint-Ouen 2**) présents sur la commune d'Asnières-sur-Seine (92) et sur le XVIII^{ème} arrondissement de Paris.
- ✎ **11 sites** considérés **éloignés d'influence potentielle de sources connues d'émissions de dioxines/furanes** :
 - secteur Sud-Ouest : **2 sites** (nommés **T1 et T2**) présents sur les communes de Bagneux (92) et de Montrouge (92),
 - secteur Sud-Est : **4 sites** (nommés **T3 à T6**) présents sur les communes de Maisons-Alfort (94), Villejuif (94), Fontenay-sous-Bois (94) et le XII^{ème} arrondissement de Paris,
 - secteur Nord-Est : **3 sites** (nommés **T7 à T9**) présents dans les XVII^{ème} et XX^{ème} arrondissements de Paris,
 - secteur Nord-Ouest : **2 sites** (nommés **T10 et T11**) présents sur les communes de Nanterre (92) et de Villeneuve-la-Garenne (92).

3.2. Description des investigations

Les investigations de reconnaissance ont été effectuées par 2 ingénieurs de notre société entre le **08 et le 17 février 2023** au droit **des 25 poulaillers domestiques sélectionnés** et ont consisté, pour chaque parcelle concernée, en la réalisation des prestations suivantes :

- ✎ confection d'un **échantillon composite de sols superficiels** (nommé XXX-SSup) correspondant au parcours quotidien estimé des poules,
- ✎ confection d'un **échantillon composite d'œufs de poule** (nommé XXX-Œuf) représentatif des poules pondeuses présentes au sein du poulailler investigué.

Préalablement à la récupération des œufs de poule, un **questionnaire d'enquête** permettant de recueillir des données nécessaires à l'interprétation des résultats analytiques (historique de l'emplacement du poulailler, caractéristiques du poulailler, pratiques d'élevage, qualité des entrants alimentaires données aux volailles, habitudes de consommations des éleveurs, ...) a été complété lors de notre intervention auprès du gestionnaire de chaque poulailler investigué (voir fiche « type » de prélèvement d'œufs de poule en annexe 1.3).

3.3. Mode opératoire d'échantillonnage

❖ *Prélèvements de sols superficiels*

Les échantillons de sols superficiels correspondent à des échantillons composites confectionnés par homogénéisation de 5 à 10 échantillons unitaires, prélevés sur une épaisseur de 0,00 à 0,03 m à l'aide d'un plantoir et répartis sur l'ensemble du parcours quotidien estimé des poules puis conditionnés au sein d'un flaconnage spécifique de 500 ml fourni par le laboratoire LABERCA (voir fiche « type » de prélèvement de sols superficiels en annexe 1.2).

Après caractérisation, conditionnement et étiquetage, chaque échantillon composite de sols superficiels confectionné a été placé à l'abri de la lumière et de la chaleur pour l'acheminement vers le laboratoire d'analyses LABERCA.

❖ Prélèvements d'œufs

Les échantillons d'œufs de poule correspondent à des échantillons composites, confectionnés par homogénéisation de 2 œufs (blanc et jaune d'œufs) en moyenne par poule pondeuse via un mélange réalisé au sein d'un flaconnage spécifique de 500 ml fourni par le laboratoire LABERCA (voir fiche « type » de prélèvement d'œufs de poule en annexe 1.3).

Après caractérisation, conditionnement et étiquetage, chaque échantillon composite d'œufs de poule confectionné a été placé à l'abri de la lumière et de la chaleur pour l'acheminement vers le laboratoire d'analyses LABERCA.

A noter qu'en raison de la faible productivité d'œufs de poule (faible ponte) liée à la période hivernale lors de la présente étude, la stratégie d'échantillonnage consistant à prélever 2 œufs par poule pondeuse afin d'obtenir un échantillon composite représentatif de l'ensemble des poules présentes au sein des poulaillers à l'étude, n'a pas pu être appliquée sur chaque poulailler. Néanmoins, malgré cet écart par rapport au protocole initial, l'échantillon composite élaboré reste un échantillon représentatif de chaque poulailler à l'étude.

3.4. Programme analytique

Les analyses chimiques des échantillons ont porté sur les dioxines/furanes et PCB considérés comme les plus toxiques et présents dans l'environnement et les organismes vivants (voir détail §2.2.1). Conformément à la demande de l'ARS-IDF, le programme analytique engagé sur les échantillons composites d'œufs de poule et de sols superficiels confectionnés est le suivant :

- ☞ dioxines : 7 PCDD,
- ☞ furanes : 10 PCDF,
- ☞ polychlorobiphényles Dioxine-Like : 12 PCB-DL,
- ☞ polychlorobiphényles Non-Dioxine-Like : 6 PCB-NDL.

Les analyses ont été effectuées par le laboratoire LABERCA accrédité COFRAC respectant une procédure d'assurance qualité à toutes les étapes (préparation des échantillons - extraction des polluants - détection - reproductibilité de la mesure).

A noter que les résultats d'analyses indiqués sur les bulletins du laboratoire LABERCA sont exprimés en 4 regroupements de paramètres répartis de la manière suivante :

- ☞ somme des dioxines et des furanes (7 PCDD + 10 PCDF) ^(*),
- ☞ somme des Polychlorobiphényles Dioxine-Like (12 PCB-DL) ^(*),
- ☞ somme des dioxines, des furanes et des Polychlorobiphényles Dioxine-Like (7 PCDD + 10 PCDF + 12 PCB-DL) ^(*),
- ☞ somme des Polychlorobiphényles Non-Dioxine-Like (6 PCB-NDL).

^(*) : résultats présentés sur le bulletin avec application de Facteurs d'Equivalence Toxique (TEF), correspondant aux coefficients de pondération qui expriment la toxicité relative de chaque congénère par rapport à un congénère de référence.

Remarque : comme tout processus de mesure, les analyses au laboratoire sont soumises à des facteurs d'influence que l'on appelle sources d'incertitudes. Les estimations de ces dernières réalisées par le laboratoire sont présentées sur les bulletins présentés en annexe 7.

4. Interprétation des résultats

4.1. Choix des outils d'interprétation

Les teneurs mesurées ainsi que les valeurs de référence indiquées dans le présent rapport et dans les bulletins d'analyses du laboratoire sont exprimées dans les unités suivantes :

- ☞ picogramme (pg) : unité de masse égale à un millième de milliardième de gramme (10^{-12} g),
- ☞ nanogramme (ng) : unité de masse égale à un milliardième de gramme (10^{-9} g),
- ☞ microgramme (μ g) : unité de masse égale à un millionième de gramme (10^{-6} g).

4.1.1. Sols superficiels

Il n'existe pas de valeurs réglementaires françaises ou européennes permettant d'appréhender la qualité des sols superficiels en dioxines/furanes et en PCB.

Néanmoins, à titre d'information, les teneurs mesurées en dioxines/furanes ont été comparées au bruit de fond dans les sols français (Rapport BRGM/RP-63111-FR de décembre 2013 : Dioxines/Furanes dans les sols français : troisième état des lieux - analyses 1998-2012- Rapport final) selon 3 gammes de valeurs repères, considérées de la manière suivante :

- ☞ teneur inférieure à 2,0 ng/kg en TEF ^(*) de matière sèche correspondant à des sols ruraux et/ou urbains sans influence industrielle,
- ☞ teneur comprise entre 2,0 et 8,0 ng/kg en TEF ^(*) de matière sèche correspondant à des sols urbains sans ou sous influence industrielle,
- ☞ teneur supérieure à 8,0 ng/kg en TEF ^(*) de matière sèche correspondant à des sols urbains sous influence industrielle.

^(*) : teneurs exprimées en ng/kg avec l'application de Facteurs d'Equivalence Toxique (TEF), correspondant aux coefficients de pondération qui expriment la toxicité relative de chaque congénère par rapport à un congénère de référence.

4.1.2. Œufs de poule

Afin d'appréhender la qualité des œufs de poule en dioxines/furanes et en PCB, les résultats ont été comparés aux teneurs maximales autorisées au sein des denrées alimentaires fixées par « le règlement UE 1259/2011 de la commission européenne du 2 décembre 2011 modifiant le règlement (CE) n°1881/2006 en ce qui concerne les teneurs maximales en dioxines/furanes, en PCB de type dioxine et en PCB autres que ceux de type dioxine des denrées alimentaires » (voir texte réglementaire en vigueur en annexe 2).

Les valeurs réglementaires appliquées sont les suivantes :

- ☞ pour les dioxines/furanes (PCDD/F) : la teneur maximale autorisée **de 2,5 pg/g** en TEF ^(*) de matière grasse dans les œufs de poule pour la somme des 7 dioxines (PCDD) et les 10 furanes (PCDF),
- ☞ pour les dioxines/furanes (PCDD/F) et PCB Dioxine-Like (PCB-DL) : la teneur maximale autorisée **de 5,0 pg/g** en TEF ^(*) de matière grasse dans les œufs de poule pour la somme des 7 dioxines (PCDD), des 10 furanes (PCDF) et des 12 PCB Dioxine-Like (PCB-DL),
- ☞ pour les PCB Non-Dioxine Like (PCB-NDL) : la teneur maximale autorisée **de 40 ng/g** de matière grasse dans les œufs de poule pour la somme des 6 PCB-NDL.

^(*) : teneurs exprimées en pg/g avec application de Facteurs d'Equivalence Toxique (TEF), correspondant aux coefficients de pondération qui expriment la toxicité relative de chaque congénère par rapport à un congénère de référence.

A titre d'information, les valeurs réglementaires précitées sont issues de normes appliquées aux denrées alimentaires dans le cadre de produits alimentaires commercialisés et non à la consommation d'aliments autoproduits.

4.2. Résultats et interprétations

4.2.1. Sols superficiels

4.2.1.1 Constats d'échantillonnage et constats de terrain

Les constats d'échantillonnage des sols superficiels ainsi que les observations de terrain sur l'environnement du poulailler et les informations recueillies auprès du gestionnaire sur le passif du site à l'étude (intégrées dans le questionnaire d'enquête) pour chaque site investigué sont synthétisés dans les tableaux présentés en annexe 3.

Les constats de terrain effectués ont ainsi permis de mettre en évidence l'absence d'indice susceptible de révéler un impact des sols superficiels, excepté :

- ↳ la présence de remblais de médiocre qualité avec la présence de matériaux exogènes (brique, verre, mâchefers, ...) au niveau des sites **Ivry2, Ivry4, T1, T2, T8 et T11**,
- ↳ la présence d'un mur limitrophe au parcours des poules dont le revêtement qui se désagrège est susceptible de se retrouver dans les sols superficiels après ruissellement au niveau des sites **Ivry2, Ivry3, Ivry5, T1 et T2**,
- ↳ la présence de sols potentiellement contaminés en hydrocarbures et/ou en métaux à la suite d'études de sols menées au droit des sites **Ivry4 et T9** (information recueillie auprès du gestionnaire du poulailler).
- ↳ la présence de sols très probablement remaniés comportant potentiellement des remblais d'origine inconnue au droit **de l'ensemble des sites à l'étude**.

4.2.1.2 Résultats d'analyses

Remarque : les résultats des analyses sur les sols superficiels sont exprimés **en ng/kg** avec l'application de Facteurs d'Equivalence Toxique (TEF) de Matières Sèches (MS) pour les dioxines, furanes et PCB Dioxine-Like (DL) et **en µg/kg** de Matières Sèches (MS) pour les PCB Non-Dioxine-Like (NDL).

L'ensemble des résultats analytiques obtenus sur les échantillons composites de sols superficiels confectionnés associés aux observations et aux informations recueillies sur le terrain est synthétisé dans le tableau de synthèse des résultats en annexe 4 (voir bulletins d'analyses du laboratoire en annexe 7).

Les résultats d'analyses obtenus ont permis de mettre en évidence la présence de polluants organiques persistants (dioxines, furanes et PCB) au sein de l'ensemble des 25 échantillons composites de sols superficiels confectionnés.

❖ Concernant les teneurs mesurées en dioxines/furanes

La répartition des teneurs mesurées en dioxines/furanes dans les sols superficiels est présentée dans le tableau suivant (voir cartographie des résultats en annexe 5.1) :

Somme des Dioxines/Furanes (7 PCDD + 10 PCDF) en TEF ng/kg MS				
Localisation / zone à l'étude	Valeurs repères considérées (*)			Gamme des teneurs mesurées (min. et max.)
Zone considérée sous influence de l'incinérateur d'Ivry-sur-Seine	< 2,0 ng/kg MS : sols ruraux et/ou urbains sans influence industrielle	Entre 2,0 et 8 ng/kg MS : sols urbains sans ou sous influence industrielle	> 8,0 ng/kg MS : sols urbains sous influence industrielle	0,54 → 7,54 et 23,45 pour Ivry3
Zone considérée sous influence de l'incinérateur de Saint-Ouen				0,97 → 1,96
Zone considérée sous influence de l'incinérateur d'Issy-les-Moulineaux				0,63 → 8,09
Zone considérée hors influence				0,60 → 6,43

(*) : Gammes de valeurs repères du BRGM considérées en dioxines/furanes issues du bruit de fond dans les sols français (Rapport BRGM/RP-63111-FR de décembre 2013 : Dioxines/Furanes dans les sols français : troisième état des lieux - analyses 1998-2012- Rapport final).

En l'absence de valeurs réglementaires en vigueur pour ce milieu d'exposition, après comparaison des résultats obtenus sur la base des gammes de valeurs repères du BRGM considérées par rapport au bruit de fond dans les sols français (Rapport BRGM/RP-63111-FR de décembre 2013 : Dioxines/Furanes dans les sols français), il a été mis en évidence :

- ↳ 9 échantillons sur les 25 réalisés avec des teneurs mesurées inférieures à 2,0 en TEF ng/kg de MS correspondant à « des sols ruraux et/ou urbains sans influence industrielle » :
 - dont 4 sont situés dans un rayon de 3 km d'une source connue d'émission de dioxines/furanes,
 - et 5 au-delà de 3 km de toute source connue d'émission de dioxines/furanes.
- ↳ 15 échantillons ^(*) sur les 25 réalisés avec des teneurs comprises entre 2,0 et 8,0 en TEF ng/kg de MS correspondant à « des sols urbains sans ou sous influence industrielle »,
 - dont 9 sont situés dans un rayon de 3 km d'une source connue d'émission de dioxines/furanes,
 - et 6 au-delà de 3 km de toute source connue d'émission de dioxines/furanes,
- ↳ 1 échantillon sur les 25 réalisés avec une teneur supérieure à 8,0 en TEF ng/kg de MS correspondant à « des sols urbains sous influence industrielle ».

^(*) : la teneur mesurée pour l'échantillon Issy3 de 8,09 en TEF ng/kg MS étant très proche de la borne haute de la gamme comprise entre 2,0 et 8,0 en TEF ng/kg de MS correspondant à « des sols urbains sans ou sous influence industrielle », celle-ci a été intégrée dans cette gamme.

La teneur élevée mesurée au sein de l'échantillon **Ivry3-SSup** (23,45 en TEF ng/kg MS en dioxines/furanes), situé à 2,1 km à l'Est de de l'incinérateur d'Ivry-sur-Seine et correspondant d'après les gammes de valeurs repères du BRGM à « des sols urbains sous influence industrielle », est remarquable par rapport aux teneurs relevées pour les 7 autres sites localisés à moins de 3 km de l'incinérateur d'Ivry-sur-Seine (valeurs comprises entre 0,54 et 7,54 en TEF ng/kg MS en dioxines/furanes). Cette teneur élevée est notamment caractérisée par une contribution majoritaire de deux congénères de dioxines (HpCDD et OCDD), très supérieures à celles relevées pour les autres sites localisés dans la zone d'influence de l'incinérateur d'Ivry-sur Seine, ce qui laisse supposer que la contamination des sols en place est potentiellement due à d'autres sources telles qu'une contamination via des pratiques locales actuelles et/ou anciennes de brûlage de déchets divers à l'air libre, l'apport de remblais potentiellement contaminés et/ou d'autres sources non identifiées.

L'ensemble des résultats d'analyses en dioxines/furanes dans les sols superficiels (voir cartographie des résultats en annexe 5.1) permet de mettre en évidence la présence d'une pollution diffuse et une répartition hétérogène des teneurs par rapport aux sources connues d'émissions en dioxines/furanes.

❖ Concernant les teneurs mesurées en PCB (DL et NDL)

La répartition des teneurs mesurées en PCB-DL et PCB-NDL dans les sols superficiels est présentée dans le tableau suivant (voir cartographies des résultats en annexe 5.2 et 5.3) :

Somme des PCB-DL (12 PCB-DL) en TEF ng/kg MS		
Localisation / zone à l'étude	Valeurs de référence	Gamme des teneurs mesurées (min. et max.)
Zone considérée sous influence de l'incinérateur d'Ivry-sur-Seine	Absence de valeurs réglementaires et/ou repères pour les PCB-DL	0,33 → 6,73
Zone considérée sous influence de l'incinérateur de Saint-Ouen		0,47 → 1,39
Zone considérée sous influence de l'incinérateur d'Issy-les-Moulineaux		0,26 → 3,89
Zone considérée hors influence		0,21 → 4,40 et 30,33 pour T1
Somme des PCB-NDL (6 PCB-NDL) en µg/kg MS		
Localisation / zone à l'étude	Valeurs de référence	Gamme des teneurs mesurées (min. et max.)
Zone considérée sous influence de l'incinérateur d'Ivry-sur-Seine	Absence de valeurs réglementaires et/ou repères pour les PCB-NDL	2,18 → 47,69
Zone considérée sous influence de l'incinérateur de Saint-Ouen		2,22 → 10,31
Zone considérée sous influence de l'incinérateur d'Issy-les-Moulineaux		0,87 → 66,20
Zone considérée hors influence		1,99 → 38,19 et 618,84 pour T1

En l'absence de valeur réglementaire en vigueur et de valeur repère pour ce milieu d'exposition, après comparaison des différents résultats d'analyses entre eux (différentiel entre les échantillons pour identifier les concentrations faibles à modérées ou fortes), il a été mis en évidence :

- ✎ pour les PCB-DL, la présence d'une gamme de valeur comprise entre 0,21 et 6,73 en TEF ng/kg MS, excepté pour l'échantillon **T1-SSup** présentant une teneur plus élevée avec une teneur mesurée de 30,33 en TEF ng/kg MS,
- ✎ pour les PCB-NDL, la présence d'une gamme de valeur comprise entre 0,87 et 66,20 µg/kg MS, excepté pour l'échantillon **T1-SSup** présentant une teneur plus élevée avec une teneur mesurée de 618,84 µg/kg MS.

La répartition des résultats en PCB-DL et PCB-NDL dans les sols superficiels précitée et présentée dans les cartographies des résultats en annexes 5.2 et 5.3 permet de mettre en évidence la présence d'une pollution diffuse et une répartition hétérogène des teneurs mesurées.

Concernant les teneurs élevées mesurées en PCB au sein de l'échantillon **T1-SSup** (30,33 en TEF ng/kg MS en PCB-DL et 618,84 en µg/kg MS en PCB-NDL), l'observation de ces teneurs plus élevées par rapport à l'ensemble des teneurs mesurées sur les autres échantillons pourraient s'expliquer selon les hypothèses suivantes :

- ✎ une contamination importée des sols/remblais en place (nature et origine des remblais inconnues),
- ✎ une contamination en lien avec la présence d'un revêtement de mur limitrophe au parcours des poules qui se désagrège avec le temps et que l'on peut retrouver potentiellement dans les sols superficiels après ruissellement,
- ✎ une contamination en lien avec d'autres sources ponctuelles de PCB non identifiées à ce stade.

Au regard de l'origine potentielle des PCB (DL-NDL), il est probable que les teneurs mesurées au sein de l'ensemble des échantillons confectionnés soient liées à la présence de sols remaniés comportant potentiellement des remblais d'origine inconnue ainsi que, pour certaines parcelles, à la présence de structures détériorées et/ou de déchets de démolition présents dans les sols.

4.2.2. Œufs de poule

4.2.2.1 Questionnaire d'enquête et constat de terrain

L'ensemble des questionnaires d'enquête permettant de recueillir des données nécessaires à l'interprétation des résultats analytiques (informations relatives au poulailler, à l'alimentation des poules, aux pratiques sanitaires, à l'autoconsommation,) pour chaque site investigué est synthétisé dans les tableaux présentés en annexe 3.

Sur la base des éléments répertoriés aux sein des questionnaires d'enquête réalisés et considérant que :

- ✎ les aliments pour volailles issus du commerce sont réglementés (voir §2.2.4),
- ✎ les restes alimentaires d'origine végétale ou à base de céréales ne peuvent contenir que de très faibles teneurs en POP (très faible assimilation des POP par les plantes),
- ✎ l'eau potable est soumise à des contrôles sanitaires et l'eau de pluie n'étant pas sujette à des contaminations, excepté si la rétention prévue à cet effet contient des POP (assimilation dans les eaux de pluies qui stagnent),
- ✎ les pratiques sanitaires (produits utilisés pour la désinfection du poulailler et traitements appliqués aux poules) proviennent de produits commercialisés réglementés notamment de produits biologiques pour la plupart des sites investigués.

Les éléments recensés susceptibles de contenir des dioxines/furanes et/ou des PCB sont les suivants :

- ✎ concernant les entrants alimentaires donnés aux poules, les aliments à base de produit animal (vers déshydratés et restes alimentaires non définis) pour 3 sites (**Issy3**, **T3** et **T11**),
- ✎ concernant la nature de l'eau consommée par les poules, la consommation d'eau issue des eaux de *la Seine* pour 2 sites (**Issy2** et **Issy3**).

4.2.2.2 Résultats d'analyses

Remarque : les résultats des analyses sur les œufs de poule sont exprimés **en pg/g** avec l'application de Facteurs d'Equivalence Toxique (TEF) de Matières Grasse (MG) pour les dioxines, furanes et PCB Dioxine-Like (DL) et **en ng/g** de Matières Grasse (MG) pour les PCB Non-Dioxine-Like (NDL).

L'ensemble des résultats analytiques obtenus sur les échantillons composites d'œufs de poule réalisés associés aux pratiques susceptibles de contenir des polluants organiques persistants (POP) de type dioxines/furanes (PCDD-F) et polychlorobiphényles (PCB) est présenté en annexe 4 (voir bulletins d'analyses du laboratoire en annexe 7).

Les résultats d'analyses obtenus ont permis de mettre en évidence la présence de polluants organiques persistants (dioxines, furanes et PCB) au sein de l'ensemble des 25 échantillons composites d'œufs de poule réalisés.

A noter, que les teneurs indiquées dans les cartographies des résultats en annexe 6 sont exprimées selon 3 gammes distinctes considérées suivantes :

- ↳ teneur inférieure à la valeur réglementaire représentée par à un code couleur vert.
- ↳ teneur supérieure à la valeur réglementaire mais inférieure à 2 fois celle-ci représentée par à un code couleur orange.
- ↳ teneur supérieure à 2 fois la valeur réglementaire représentée par à un code couleur rouge.

❖ **Concernant les teneurs mesurées en dioxines/furanes**

La répartition des teneurs mesurées en dioxines/furanes dans les œufs est présentée dans le tableau suivant (voir cartographie des résultats en annexe 6.1) :

Somme des Dioxines/Furanes (7 PCDD + 10 PCDF) en TEF pg/g MG			
Localisation / zone à l'étude	Valeurs réglementaires en vigueur	Gamme des teneurs mesurées (min. et max.)	Nombre échantillons > valeur réglementaire
Zone considérée sous influence de l'incinérateur d'Ivry-sur-Seine	2,5 ^(*)	0,54 → 6,42	7/8
Zone considérée sous influence de l'incinérateur de Saint-Ouen		1,16 → 2,02	0/2
Zone considérée sous influence de l'incinérateur d'Issy-les-Moulineaux		0,87 → 8,79	2/4
Zone considérée hors influence		1,69 → 5,51	5/11

^(*) : teneur maximale autorisée en dioxines/furanes au sein des denrées alimentaires fixées par « le règlement UE 1259/2011 de la commission européenne du 2 décembre 2011 modifiant le règlement (CE) n°1881/2006).

Les teneurs mesurées en dioxines/furanes ont mis en évidence des dépassements de la valeur réglementaire en vigueur sur les denrées alimentaires de **2,5 en TEF pg/g MG** sur 14 échantillons des 25 réalisés, dont 9 sont considérés comme étant au sein de zones sous influence de sources d'émission fixes connues de dioxines/furane et 5 en dehors de celles-ci.

L'ensemble des teneurs mesurées dans les œufs sont du même ordre de grandeur quel que soit la zone concernée et comprises entre 0,54 et 8,79 en TEF pg/g MG au maximum.

L'ensemble des résultats d'analyses en dioxines/furanes dans les œufs de poule (voir cartographie des résultats en annexe 6.1) permet de mettre en évidence la présence d'une pollution diffuse et une répartition hétérogène des teneurs indépendante de l'éloignement des sites investigués par rapport aux sources connues d'émissions de celles-ci.

❖ Concernant les teneurs mesurées en PCB (DL)

La répartition des teneurs mesurées en PCB-DL dans les œufs est présentée dans le tableau suivant (voir cartographie des résultats en annexe 6.2) :

Somme des PCB-DL (12 PCB-DL) en TEF pg/g MG		
Localisation / zone à l'étude	Valeurs réglementaires en vigueur	Gamme des teneurs mesurées (min. et max.)
Zone considérée sous influence de l'incinérateur d'Ivry-sur-Seine	Absence de valeur réglementaire	1,04 → 15,28
Zone considérée sous influence de l'incinérateur de Saint-Ouen		1,92 → 2,08
Zone considérée sous influence de l'incinérateur d'Issy-les-Moulineaux		0,67 → 6,45
Zone considérée hors influence		3,76 → 24,32 <u>et 126,82 pour T1</u>

En l'absence de valeurs réglementaires en vigueur pour ce milieu d'exposition, après comparaison des différents résultats d'analyses entre eux (différentiel entre les échantillons pour identifier les concentrations faibles à modérées ou fortes), il a été mis en évidence pour les PCB-DL la présence d'une gamme de valeur comprise entre 0,67 et 24,32 en TEF pg/g MG, excepté pour l'échantillon **T1** présentant une teneur plus élevée avec une teneur mesurée de **126,82 en TEF pg/g MG**.

La répartition des résultats en PCB-DL dans les œufs de poule précitée et présentée dans la cartographie des résultats en annexe 6.2 permet de mettre en évidence la présence d'une pollution diffuse et une répartition hétérogène des teneurs mesurées.

Concernant la teneur élevée mesurée au sein de l'échantillon **T1-Œuf** de 126,82 en TEF pg/g MG, celle-ci pourrait s'expliquer via l'ingestion de sols contaminés par les volailles. En effet, la présence au sein d'échantillon composite réalisé **T1-SSup** a permis de mettre en évidence une teneur notable en PCB-DL de 30,33 en TEF ng/kg. Toutefois, il n'est pas à écarter la présence d'autres sources potentielles de PCB non identifiés dans le poulailler ou le parcours extérieur accessible aux poules.

❖ Concernant la somme des teneurs mesurées en dioxines/furanes et PCB-DL

La répartition des teneurs mesurées en sommes de dioxines/furanes et PCB-DL dans les œufs est présentée dans le tableau suivant :

Somme des dioxines/furanes (7 PCDD + 10 PCDF) et PCB-DL (12 PCB-DL) en TEF pg/g MG			
Localisation / zone à l'étude	Valeurs réglementaires en vigueur	Gamme des teneurs mesurées (min. et max.)	Nombre échantillons > valeur réglementaire
Zone considérée sous influence de l'incinérateur d'Ivry-sur-Seine	5 (*)	1,58 → 21,46	7/8
Zone considérée sous influence de l'incinérateur de Saint-Ouen		3,24 → 3,94	0/2
Zone considérée sous influence de l'incinérateur d'Issy-les-Moulineaux		1,54 → 15,25	3/4
Zone considérée hors influence		5,76 → 26,61 <u>et 131,13 pour T1</u>	11/11

(*) : teneur maximale autorisée pour la somme des dioxines/furanes et les PCB-DL au sein des denrées alimentaires fixées par « le règlement UE 1259/2011 de la commission européenne du 2 décembre 2011 modifiant le règlement (CE) n°1881/2006).

Les teneurs mesurées en sommes des dioxines/furanes et PCB-DL dans les œufs ont mis en évidence des dépassements de la valeur réglementaire en vigueur sur les denrées alimentaires de **5,0 en TEF pg/g MG** sur **21 échantillons des 25 échantillons réalisés**, dont 10 sont considérés comme étant au sein de zones sous influence de sources d'émission fixes connues de dioxines/furane et 11 en dehors de celles-ci. A noter que sur les 21 échantillons précités, il a été mis en évidence la présence d'une gamme de valeur comprise entre 1,54 et 26,61 en TEF pg/g MG, excepté pour l'échantillon **T1-Oeuf** présentant une teneur mesurée beaucoup plus élevée de **131,13 en TEF pg/g MG avec majoritairement la présence de PCB-DL**.

❖ **Concernant les teneurs mesurées en PCB (NDL)**

La répartition des teneurs mesurées en PCB-NDL dans les œufs est présentée dans le tableau suivant (voir cartographie des résultats en annexe 6.3) :

Somme des PCB-NDL (6 PCB-NDL) en ng/g MG			
Localisation / zone à l'étude	Valeurs réglementaires en vigueur	Gamme des teneurs mesurées (min. et max.)	Nombre d'échantillons > valeur réglementaire
Zone considérée sous influence de l'incinérateur d'Ivry-sur-Seine	40 (*)	6,79 → 192,45	6/8
Zone considérée sous influence de l'incinérateur de Saint-Ouen		10,99 → 16,86	0/2
Zone considérée sous influence de l'incinérateur d'Issy-les-Moulineaux		3,51 → 101,72	3/4
Zone considérée hors influence		26,57 → 108,14 et 1626,19 pour T1 et 2097,57 pour T11	8/11

(*) : teneur maximale autorisée en PCB-NDL au sein des denrées alimentaires fixées par « le règlement UE 1259/2011 de la commission européenne du 2 décembre 2011 modifiant le règlement (CE) n°1881/2006 ».

Les teneurs mesurées en PCB-NDL dans les œufs ont mis en évidence des dépassements de la valeur réglementaire en vigueur sur les denrées alimentaires de **40 ng/g MG** sur **17 échantillons des 25 échantillons réalisés**. A noter que sur les 17 échantillons précités, il a été mis en évidence la présence d'une gamme de valeur comprise entre 41,5 et 192,45 TEQ pg/g MG, excepté pour les échantillons **T1 et T11** présentant des teneurs beaucoup plus élevées avec des concentrations mesurées respectivement de **1626,19 et 2097,57 ng/g MG**.

La répartition des résultats en PCB-NDL dans les œufs de poule précitée et présentée dans la cartographie des résultats en annexe 6.3 permet de mettre en évidence la présence d'une pollution diffuse et une répartition hétérogène des teneurs mesurées.

Concernant les teneurs élevées mesurées au sein des échantillons composites d'œufs de poule **T1-Œuf et T11-Œuf**, respectivement de **1626,19 et 2097,57 ng/g MG**, l'observation de ces teneurs plus élevées par rapport à l'ensemble des teneurs mesurées sur les autres échantillons pourraient s'expliquer selon les hypothèses suivantes :

☞ **pour l'échantillon T1-Œuf :**

- une ingestion de sols superficiels contaminés en PCB via la présence avérée d'une teneur élevée dans l'échantillon composite de sols superficiels **T1-SSup** de 618,84 en µg/kg MS en PCB-NDL,
- une contamination en lien avec d'autres sources ponctuelles de PCB non identifiées à ce stade.

☞ **pour l'échantillon T11-Œuf :**

- une ingestion de sols superficiels contaminés en PCB malgré l'absence de contamination mesurée au sein de l'échantillon composite de sols superficiels **T11-SSup**. En effet, en raison de la présence de remblais de médiocre qualité observés lors de l'échantillonnage des sols superficiels et de la présence historique d'un ancien site industriel au droit du site à l'étude, il est possible que les sols prélevés lors de l'échantillonnage ne correspondent pas aux sols les plus contaminés du parcours quotidien estimé des volailles et que certaines zones « plus contaminées » n'aient pas été prélevées,
- une contamination en lien avec d'autres sources ponctuelles de PCB non identifiées dans le poulailler ou le parcours extérieur accessible aux poules.

4.3. Conclusion résultats

L'ensemble des résultats obtenus lors des investigations menées dans le cadre de cette étude ont permis de mettre en évidence la présence de polluants organiques persistants (dioxines, furanes et PCB) au sein de l'ensemble des 25 échantillons composites de sols superficiels et d'œufs réalisés.

Les teneurs mesurées les plus élevées en dioxines/furanes et/ou en PCB au sein des sols superficiels et/ou des œufs de poule correspondent aux sites suivants :

- ↳ **Ivry3** (zone sous influence de l'incinérateur d'Ivry-sur-Seine), avec une teneur notable mesurée en dioxines/furanes dans les sols superficiels,
- ↳ **T1** (hors zone d'influence incinération), avec des teneurs notables mesurées en PCB-DL, PCB-NDL ainsi qu'en somme des dioxines/furanes et PCB-DL dans les sols superficiels et/ou les œufs,
- ↳ **T11** (hors zone d'influence incinération), avec une teneur notable mesurée en PCB-NDL dans les œufs.

Concernant les résultats d'analyses en dioxines/furanes, la répartition des résultats sur l'ensemble des résultats des échantillons composites de sols superficiels et d'œufs de poule a permis de mettre en évidence la présence d'une pollution diffuse et une répartition hétérogène des teneurs mesurées avec l'absence de différence notable entre les sites considérés sous ou hors influence de sources connues d'émissions de dioxines/furanes.

Concernant les résultats d'analyses en PCB (DL et NDL), la répartition des résultats des échantillons composites de sols superficiels et d'œufs de poule a permis de mettre en évidence la présence d'une pollution diffuse et une répartition hétérogène des teneurs mesurées.

De plus, cette répartition hétérogène des résultats d'analyses se confirme à petite échelle avec le cas de figure des sites **Issy1**, **Issy2** et **Issy3** présents dans un même jardin associatif (considéré dans une zone sous influence de sources d'émission fixes connues de dioxines/furanes) et dont les poulaillers investigués sont séparés les uns des autres de quelques dizaines de mètres et pour lesquels les résultats d'analyses en POP des échantillons composites de sols superficiels et d'œufs de poule ont mis en évidence des résultats très hétérogènes.

En conclusion, il apparaît que la contamination en dioxines/furanes et en PCB (DL et NDL) des sols superficiels et indirectement des œufs de poule via l'ingestion des sols superficiels par les volailles semble constituer une pollution diffuse en milieu urbain.

Cette contamination est probablement associée :

- ↳ pour les dioxines/furanes, à de multiples sources fixes d'émission tels que les incinérateurs d'ordures ménagères (rejets anciens et/ou actuels), à des sources ponctuelles (notamment associées à des brûlages à l'air libre) et à des sources diffuses, telle que la circulation routière,
- ↳ pour les PCB, à de multiples sources ponctuelles tels que des résidus d'anciens déchets industriels que l'on peut retrouver dans les remblais et/ou dans les revêtements toujours en place (bâti, murs en béton) qui se désagrègent avec le temps et que l'on peut retrouver dans les sols superficiels après ruissellement ou encore d'autres sources diffuses non identifiées à ce stade.

4.4. Limites de l'étude

Les limites d'une étude correspondent aux contraintes et/ou aux manques d'informations qui peuvent affecter la validité, la fiabilité des résultats obtenus. Concernant la présente étude, les limites principales recensées correspondent aux points suivants :

- ↳ Le rayon d'action choisi pour considérer les zones sous influence de sources fixes d'émissions de dioxines/furanes. En effet, le rayon d'action défini à 3,0 km, même s'il s'appuie sur plusieurs arguments, reste incertain et dépendant des conditions de dispersion atmosphérique des émissions propres à chacun des 3 incinérateurs (notamment la hauteur de l'exutoire, vitesse et débit d'expulsion, conditions météorologiques, relief),
- ↳ Le nombre d'œufs collectés dans l'étude. En raison de la période hivernale (période de faible ponte), il n'a pas été possible de collecter deux œufs par poule dans tous les poulaillers. Il est possible que cette limitation d'œufs prélevés puisse entraîner une certaine incertitude dans la représentativité recherchée,
- ↳ L'absence d'une étude historique de chaque site investigué. En effet, comprendre le passé de chaque site notamment si un passif industriel était présent à une époque pourrait fournir des informations supplémentaires sur les facteurs qui peuvent influencer les résultats de l'étude,

- ↳ L'absence d'analyses des entrants alimentaires donnés aux volailles. En effet, bien que l'étude mentionne un contrôle réglementé des aliments, l'absence d'analyses des entrants alimentaires est une limite en soit. Les résultats des analyses de l'étude pourraient être nuancés par les caractéristiques des aliments utilisés, tels que la qualité, l'origine ou les pratiques agricoles. Sans une évaluation détaillée de ces facteurs, il peut être difficile d'attribuer les résultats uniquement aux autres facteurs environnementaux,
- ↳ La validité des renseignements retranscrits dans les questionnaires d'enquête. En effet, lors des entretiens avec les gestionnaires de poulaillers, il est possible que certaines informations ou certains renseignements soient manquants ou erronés, ce qui peut influencer certains facteurs environnementaux non pris en compte.

Il est important de prendre en compte ces limites lors de l'évaluation et de l'interprétation des résultats de la présente étude. Néanmoins, les limites précitées ne remettent pas en cause les résultats d'analyses obtenus mettant en évidence la présence d'une pollution diffuse en polluants organiques persistants en agglomération dense centrale francilienne.

4.5. Comparaison des résultats avec l'étude ToxicoWatch

Concernant les 6 sites à l'étude déjà investigués dans le cadre de l'étude ToxicoWatch en 2021, une comparaison des différents résultats d'analyses obtenus est synthétisée dans le tableau suivant :

Etude ARS-IDF (2022 - 2023)				Etude TOXICOWATCH (2021)			
Référence échantillon	Teneur PCDD/F en pg/g de MG	PCB DL en pg/g de MG	PCBDD/F + PCB DL en pg/g de MG	Référence échantillon	Teneur PCDD/F en pg/g de MG	PCB DL en pg/g de MG	PCBDD/F + PCB DL en pg/g de MG
Ivry1 - Œuf	2,76	3,72	6,48	Alf_egg1	6,2	12	18
Ivry3 - Œuf	4,53	8,39	12,93	Alf_egg2	7,9	21	29
Ivry4 - Œuf	5,75	13,00	18,75	Ivry_egg1	4,1	6,9	11
Ivry6 - Œuf	5,61	7,38	12,99	Paris_egg7	6	7,1	13
Ivry7 - Œuf	3,06	5,47	8,53	Ivry_egg5	4,1	6,9	11
Ivry8 - Œuf	0,54	1,04	1,58	Ivry_egg2	0,98	1,3	2,3

Des différences notables de méthodologie d'échantillonnage entre les 2 études ont été identifiées, notamment en ce qui concerne les protocoles de prélèvements ; les principales recensées étant les suivantes :

- ↳ le nombre d'œufs collecté lors de l'étude ToxicoWatch n'est pas connu (absence d'information sur la représentativité de l'ensemble du poulailler),
- ↳ les œufs de poules collectés au sein de l'échantillon composite Ivry1-œuf (étude ARS Île-de-France) ne proviennent pas des mêmes poules que celles de l'échantillon Alf-egg1 (étude ToxicoWatch). En effet, l'âge des poules de l'échantillon composite d'œufs Ivry1 est inférieur à 1 an, par conséquent, ces poules n'étaient pas présentes lors de l'étude ToxicoWatch de 2021, les résultats d'analyses ne sont donc pas comparables,
- ↳ les résultats d'analyses des échantillons Ivry_egg1 et Ivry_egg5 de l'étude ToxicoWatch correspondant aux résultats d'analyse d'un mélange de ces 2 échantillons d'œufs ainsi que de l'ajout d'un 3^{ème} non investigué lors de la campagne de l'ARS (absence de poule sur ce site), les résultats d'analyses avec les échantillons Ivry 4 et Ivry 7 de l'étude de l'ARS ne sont donc pas comparables,
- ↳ la méthode analytique utilisée lors de l'étude ToxicoWatch correspond à une spectrométrie de masse à faible résolution (GC-MS) alors que la méthode analytique utilisée lors de l'étude de l'ARS correspond à une spectrométrie de masse à haute résolution (GC-HRMS).

Malgré les différences relevées entre les 2 études ainsi que les incertitudes propres à chacune des deux méthodologies appliquées, les teneurs mesurées en dioxines/furanes et en PCB-DL lors de cette campagne menée par l'ARS-IDF ont permis de mettre en évidence des teneurs du même ordre de grandeur que l'étude de ToxicoWatch, sans différence significative.

5. Réflexion sur l'origine des POP dans les œufs

5.1. Comparaison de composition des mélanges dioxines/furanes

Afin d'identifier un éventuel lien entre les émissions de dioxines/furanes issues d'incinérateurs d'ordures ménagères et les résultats obtenus dans les sols superficiels lors des investigations menées, des comparaisons de composition des mélanges ont été effectuées.

5.1.1. Profils des incinérateurs d'ordures ménagères en dioxines/furanes

D'après les informations disponibles, les profils en dioxines/furanes issus d'incinérateurs d'ordures ménagères sélectionnés comme les plus pertinents sont présentés (en pourcentage) dans le tableau suivant et sous forme d'histogramme en pages suivantes :

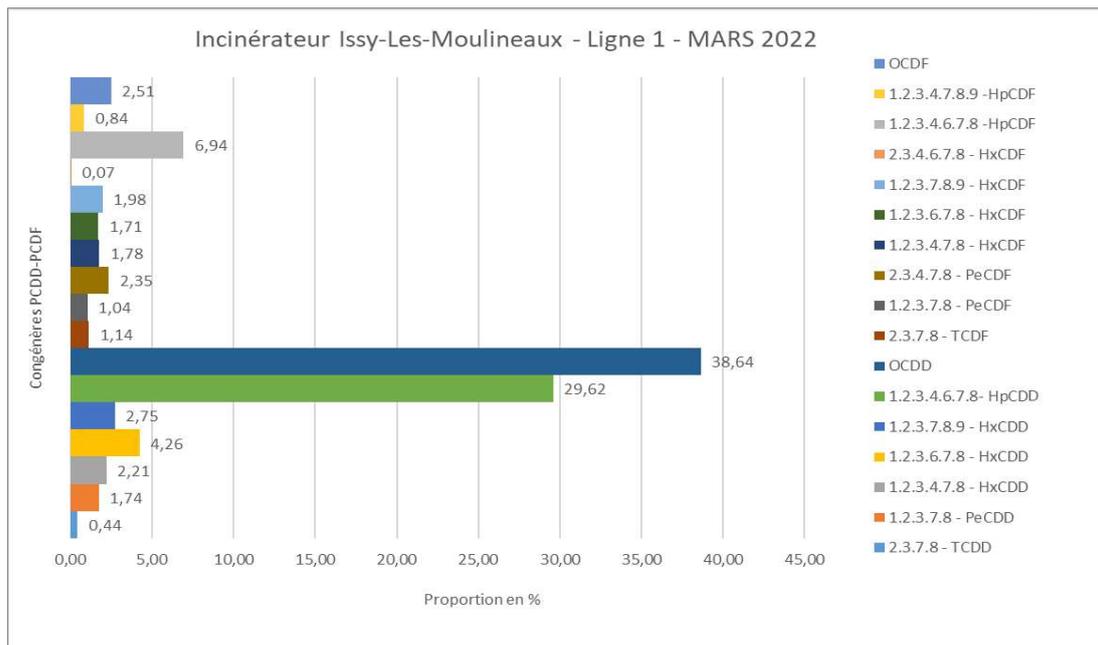
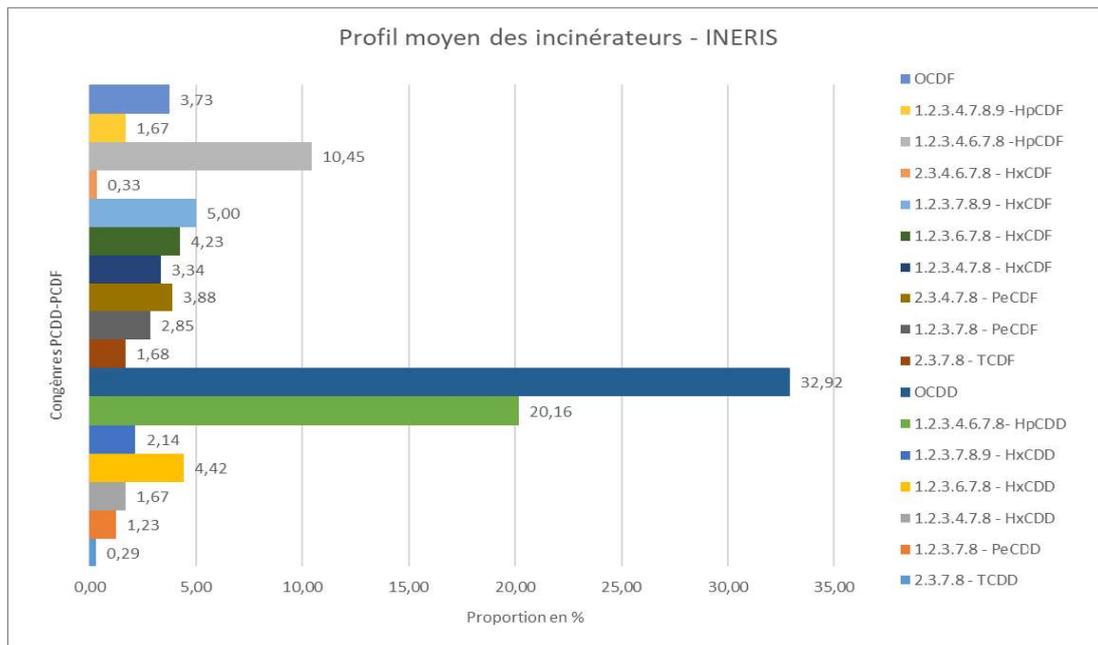
Congénères	INERIS	Incinérateur d'Issy-les-Moulineaux (mars 2022)	
	Profil moyen (%) ^(a)	Ligne 1 (%) ^(b)	Ligne 2 (%) ^(b)
2378-TeCDD	0,29	0,44	0,34
12378-PeCDD	1,23	1,74	1,93
123478-HxCDD	1,67	2,21	2,64
123678-HxCDD	4,42	4,26	7,02
123789-HxCDD	2,14	2,75	3,73
1234678-HpCDD	20,16	29,62	28,62
OcCDD	32,92	38,64	27,78
Sommes Dioxines	62,83	79,66	72,05
2378-TeCDF	1,68	1,14	0,95
12378-PeCDF	2,85	1,04	1,33
23478-PeCDF	3,88	2,35	3,47
123478-HxCDF	3,34	1,78	2,55
123678-HxCDF	4,23	1,71	2,89
234678-HxCDF	5,00	1,98	3,63
123789-HxCDF	0,33	0,07	0,17
1234678-HpCDF	10,45	6,94	9,75
1234789-HpCDF	1,67	0,84	0,95
OcCDF	3,73	2,51	2,27
Somme Furanes	37,17	20,34	27,95
<i>Ratio dioxines/furanes</i>	<i>1,69</i>	<i>3,92</i>	<i>2,58</i>

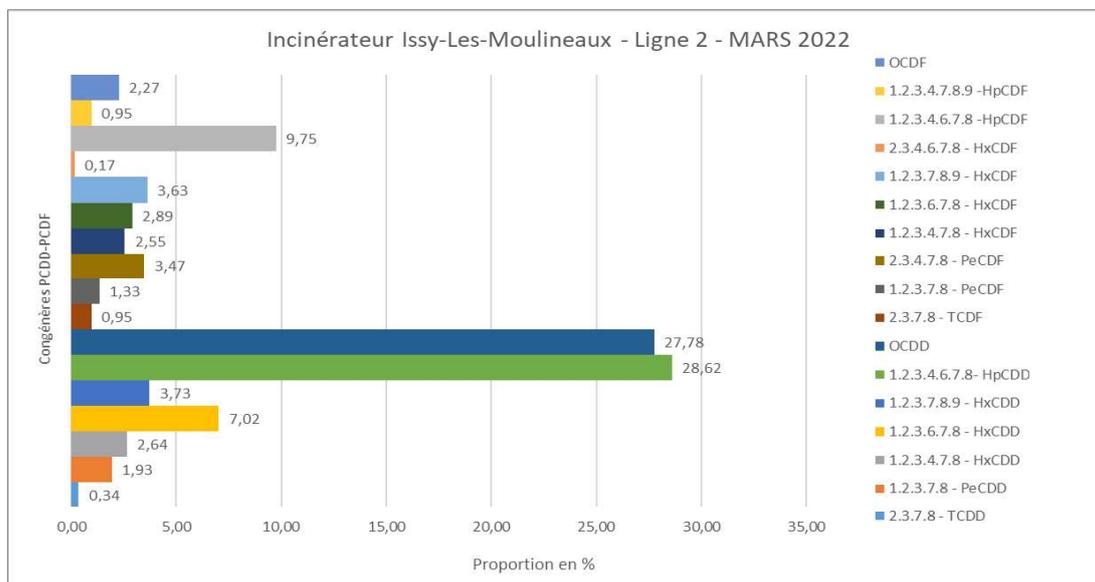
^(a) : données issues de l'INERIS (rapport d'étude DRC-18-169193-07526B : caractérisation des émissions de dioxines et furanes bromés des incinérateurs de déchets non dangereux en date de décembre 2018),

^(b) : données issues de la Direction régionale et interdépartementale de l'environnement, de l'aménagement et des transports,

Les profils présentés ci-avant permettent de mettre en évidence les principaux éléments suivants :

- ☞ la présence prépondérante des congénères OCDD et 1234678-HpCDD qui représentent environ 60 % de la composition des fumées en sortie d'incinérateur, dont 30 à 40% en OCDD.
- ☞ la présence majoritaire de dioxines par rapport aux furanes pour l'ensemble des profils, avec un ratio dioxines/furanes compris entre 1 et 4 environ,
- ☞ une similarité entre les profils de l'incinérateur d'Issy-les Moulineaux et le profil moyen des incinérateurs (INERIS).

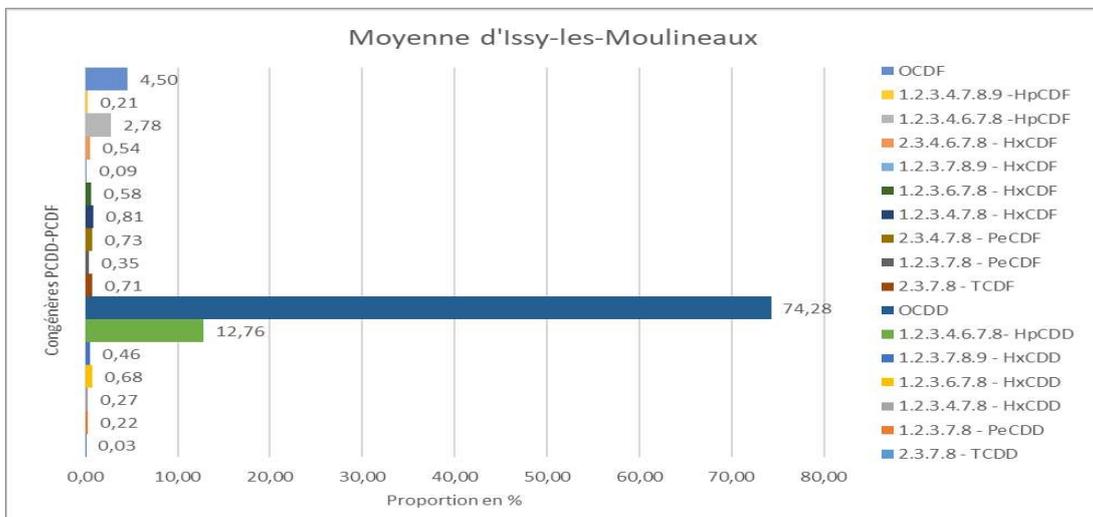
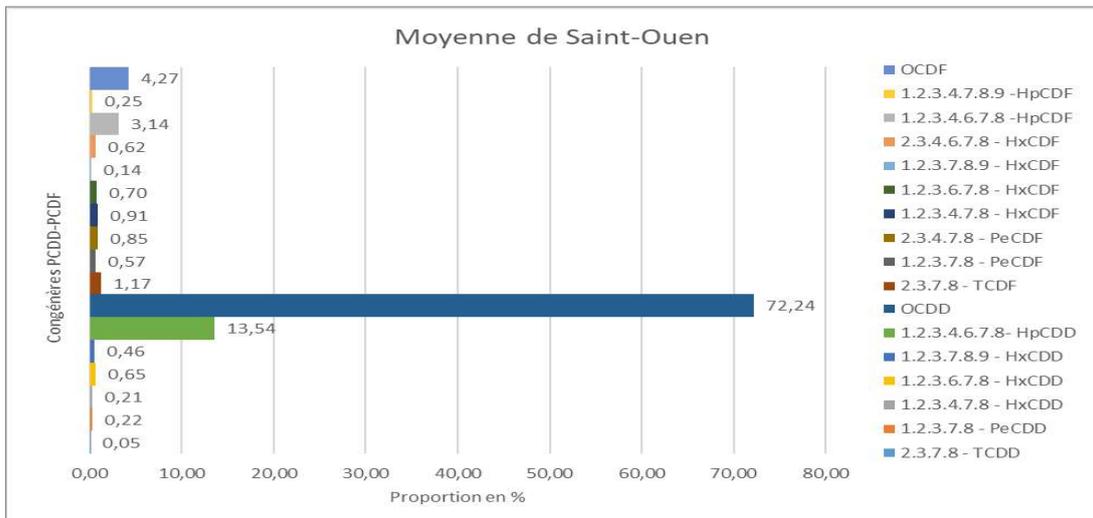
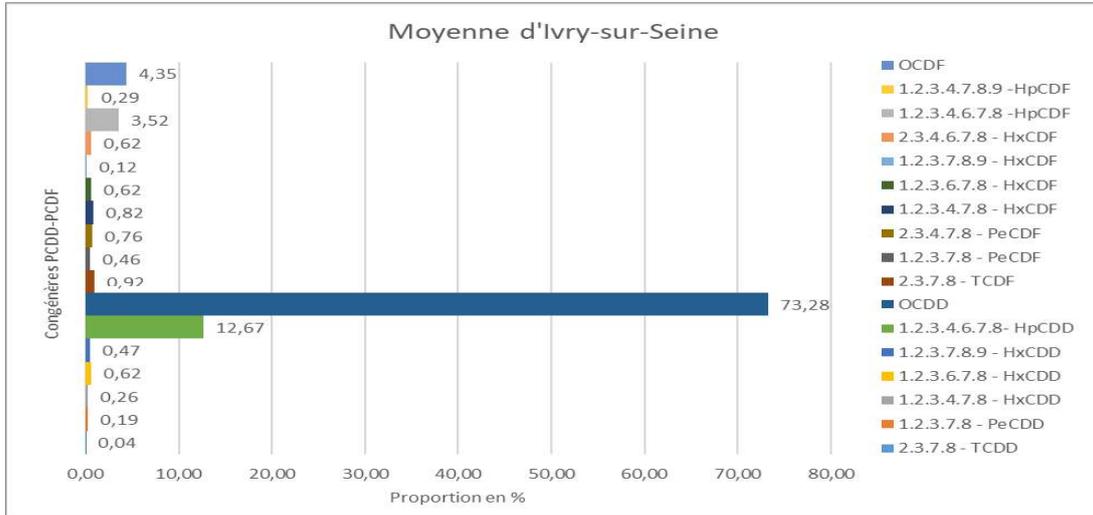


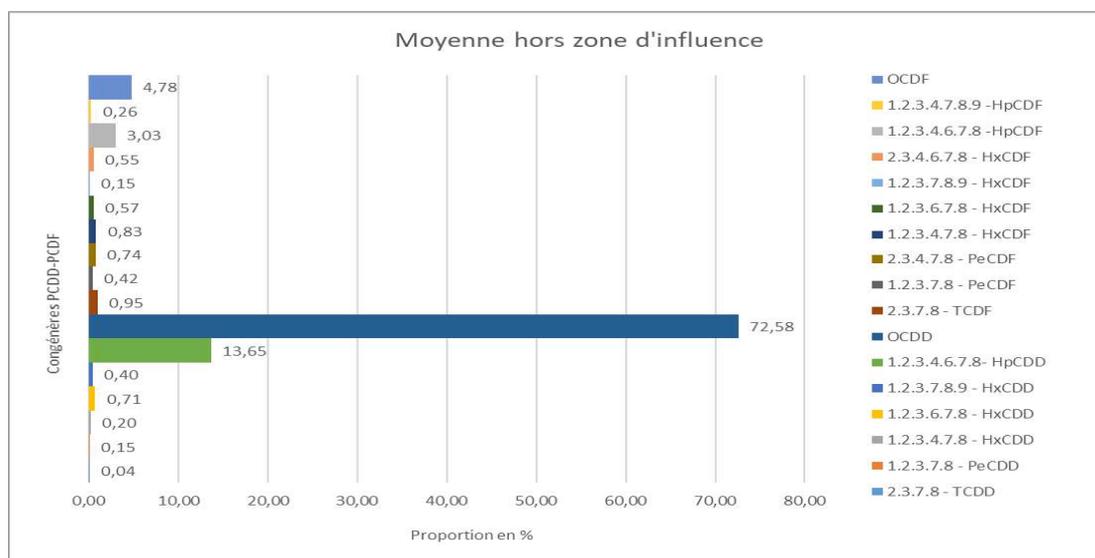


5.1.2. Profils des sols superficiels investigués

D'après les résultats obtenus lors de la présente étude, les profils en dioxines/furanes mesurés dans les sols superficiels sont présentés (en pourcentage et en moyenne par zone) dans le tableau suivant et sous forme d'histogramme et en moyenne par zone en pages suivantes :

Congénères	Zone soumise à l'influence d'un incinérateur (%)			Zone hors influence (%)
	Ivry-sur-Seine	Saint-Ouen	Issy-les-Moulineaux	
2378-TeCDD	0,04	0,05	0,03	0,04
12378-PeCDD	0,19	0,22	0,22	0,15
123478-HxCDD	0,26	0,21	0,27	0,20
123678-HxCDD	0,62	0,65	0,68	0,71
123789-HxCDD	0,47	0,46	0,46	0,40
1234678-HpCDD	12,67	13,54	12,76	13,65
OcCDD	73,28	72,24	74,28	72,58
Somme Dioxines	87,53	87,37	88,70	87,73
2378-TeCDF	0,92	1,17	0,71	0,95
12378-PeCDF	0,46	0,57	0,35	0,42
23478-PeCDF	0,76	0,85	0,73	0,74
123478-HxCDF	0,82	0,91	0,81	0,83
123678-HxCDF	0,62	0,70	0,58	0,57
234678-HxCDF	0,12	0,14	0,09	0,15
123789-HxCDF	0,62	0,62	0,54	0,55
1234678-HpCDF	3,52	3,14	2,78	3,03
1234789-HpCDF	0,29	0,25	0,21	0,26
OcCDF	4,35	4,27	4,50	4,78
Somme Furanes	12,47	12,63	11,30	12,27





Les profils moyens en dioxines/furanes obtenus sur les sols superficiels par zone présentés ci-avant permettent de mettre en évidence des profils similaires entre les profils soumis ou non à l'influence potentielle des incinérateurs d'ordures ménagères.

Après comparaison des profils moyens de sols superficiels rencontrés avec ceux des fumées en sortie d'incinérateur d'ordures ménagères présentés ci-avant (§ 5.1.1), on peut constater une différence notable de ces profils avec la présence prépondérante uniquement du congénère OCDD (dioxine) pour les profils de sols superficiels (environ 70 %).

A noter, qu'il est difficile de comparer un profil des fumées en sortie d'incinérateur d'ordures ménagères à un profil de sols correspondant à des sols en place datant de plusieurs décennies et dont une évolution dans le temps est à prendre en compte (potentielle migration/dégradation de certains congénères entre eux).

Ainsi malgré l'absence de signature similaire entre les profils de sols superficiels et des profils des fumées en sortie d'incinérateur d'ordures ménagères, il est probable qu'une part des teneurs en dioxines/furanes retrouvées dans les sols superficiels proviennent de potentielles émissions de ces derniers mais également d'autres sources non identifiées.

5.1.3. Ratios dioxines/furanes

Afin d'appréhender un éventuel lien entre les profils obtenus lors de la présente campagne et ceux considérés comme représentatifs des incinérateurs d'ordures ménagères, le ratio dioxines/furanes calculé pour l'ensemble des prélèvements réalisés est présenté (en pourcentage) dans les tableaux suivants :

Echantillon de sols superficiels composite prélevé	Somme des dioxines (%)	Sommes des furanes (%)	Ratio dioxines/furanes
Zone soumise à l'influence de l'incinérateur d'Ivry-sur-Seine			
Ivry1-SSup	73,65	26,35	2,79
Ivry2-SSup	87,91	12,09	7,27
Ivry3-SSup	98,31	1,69	58,33
Ivry4-SSup	92,58	7,42	12,48
Ivry5-SSup	88,21	11,79	7,48
Ivry6-SSup	95,21	4,79	19,86
Ivry7-SSup	72,38	27,62	2,62
Ivry8-SSup	91,95	8,05	11,42

Echantillon de sols superficiels composite prélevé	Somme des dioxines (%)	Sommes des furanes (%)	Ratio dioxines/furanes
Zone soumise à l'influence de l'incinérateur de Saint-Ouen			
Saint-Ouen1-SSup	86,27	13,73	6,28
Saint-Ouen2-SSup	88,48	11,52	7,68
Zone soumise à l'influence de l'incinérateur d'Issy-les-Moulineaux			
Issy1-SSup	91,57	8,43	10,87
Issy2-SSup	86,07	13,93	6,18
Issy3-SSup	91,92	8,08	11,37
Issy4-SSup	85,23	14,77	5,77
Zone hors influence d'un incinérateur			
T1-SSup	84,09	15,91	5,28
T2-SSup	85,34	14,66	5,82
T3-SSup	81,54	18,46	4,42
T4-SSup	80,10	19,90	4,02
T5-SSup	91,73	8,27	11,09
T6-SSup	85,08	14,92	5,70
T7-SSup	91,52	8,48	10,80
T8-SSup	96,57	3,43	28,15
T9-SSup	89,78	10,22	8,78
T10-SSup	85,47	14,53	5,88
T11-SSup	93,79	6,21	15,10

Les ratios dioxines/furanes calculés et présentés dans le précédent tableau permettent de mettre en évidence des ratios compris entre 2,62 et 58,33, montrant une forte hétérogénéité de l'ensemble des profils mesurés avec les gammes présentées ci-dessous selon les zones investiguées :

- ↳ zone soumise à l'influence des 3 incinérateurs à l'étude : ratios compris entre 2,62 et 58,33,
- ↳ zone hors l'influence d'un incinérateur : ratios compris entre 4,02 et 28,15.

A noter qu'aucun des ratios calculés ne s'apparente à ceux représentatifs des incinérateurs d'ordures ménagères qui présentent un ratio inférieur à 4,0 (voir §5.1.1), excepté pour les ratios des échantillons composites **lvry1-SSup** et **lvry7-SSup** ; les profils de ces derniers restent toutefois différents de ceux considérés pour les incinérateurs avec un ratio 1234678-HpCDD/OCDD compris entre 0,2 et 0,3 pour ces derniers et entre 0,6 et 1 pour les 2 échantillons en question.

5.1.4. Comparaison des profils dioxines/furanes rejets incinérateurs / sols superficiels

Les comparaisons des profils (composition des dioxines/furanes) des rejets d'incinérateurs d'ordures ménagères par rapport aux profils des échantillons composites de sols superficiels prélevés ne permettent pas à ce stade d'établir une signature similaire entre les rejets d'incinérateurs et les sols superficiels investigués.

5.2. Relation sols superficiels / œufs

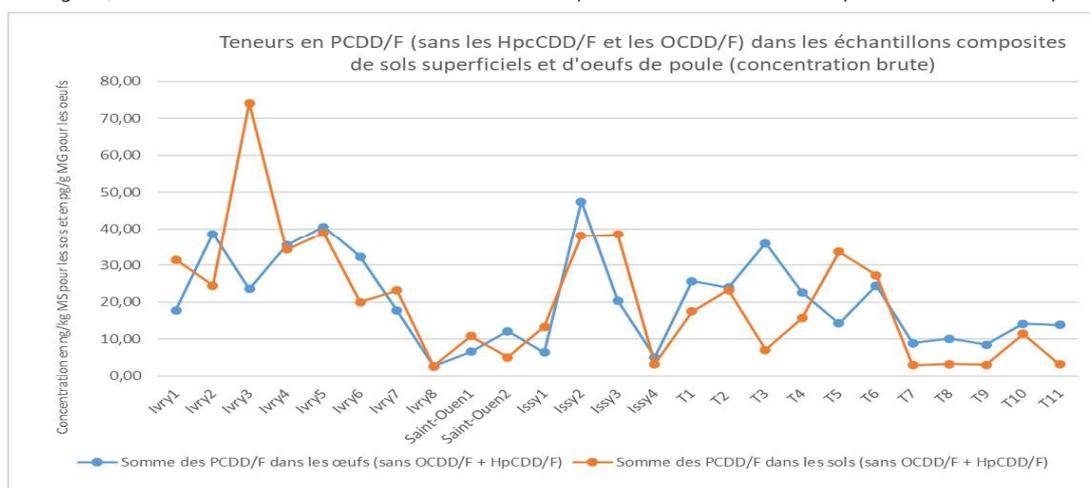
5.2.1. Evaluation de relations sols superficiels / œufs

Au vu de la présence généralisée de polluants organiques persistants (dioxines, furanes et PCB) mise en évidence au sein de l'ensemble des prélèvements de sols superficiels et d'œufs de poule réalisés, une réflexion a été menée afin d'évaluer l'influence de la qualité des sols sur la qualité des denrées alimentaires (œufs).

Afin d'évaluer l'influence potentielle des teneurs mesurées dans les sols, des graphiques représentant les teneurs mesurées dans les sols et les œufs ont été réalisés pour chaque famille de substances afin d'établir une éventuelle corrélation entre ces 2 milieux.

❖ *Dioxines/Furanes*

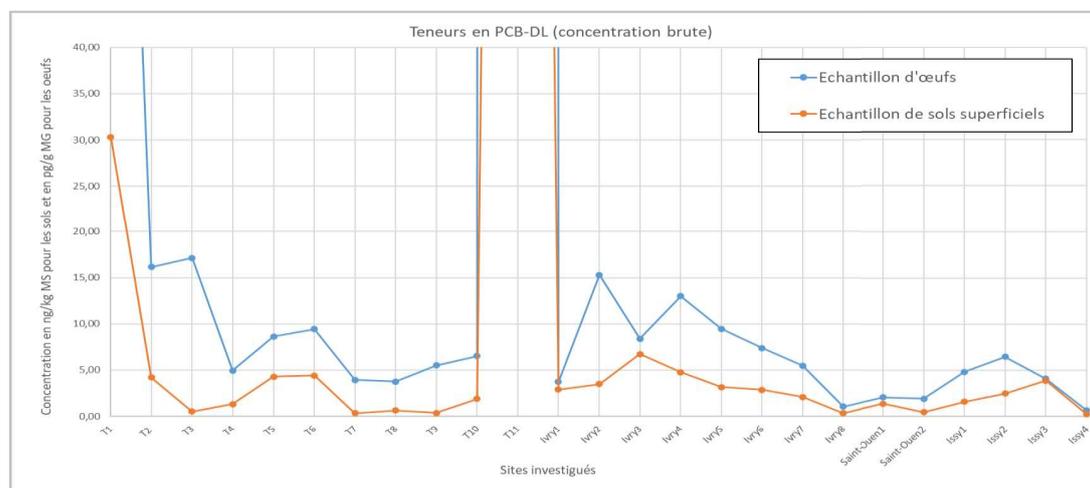
Le graphique suivant présente les teneurs mesurées en somme des dioxines/furanes (hors congénère HpCDD/F et OCDD/F) pour l'ensemble des échantillons prélevés (concentrations en ng/kg MS pour les sols superficiels et en pg/g MG pour les œufs). En effet, la majorité des congénères HpCDD, HpCDF, OCDF et OCDD étant métabolisés et éliminés par les poules, ces derniers sont retrouvés en moindre quantité dans les œufs (concentration retrouvée dans les œufs non représentative par rapport au sols ingérés) et ont été retirés de la somme des teneurs mesurées pour les échantillons de sols superficiels et les œufs de poule.



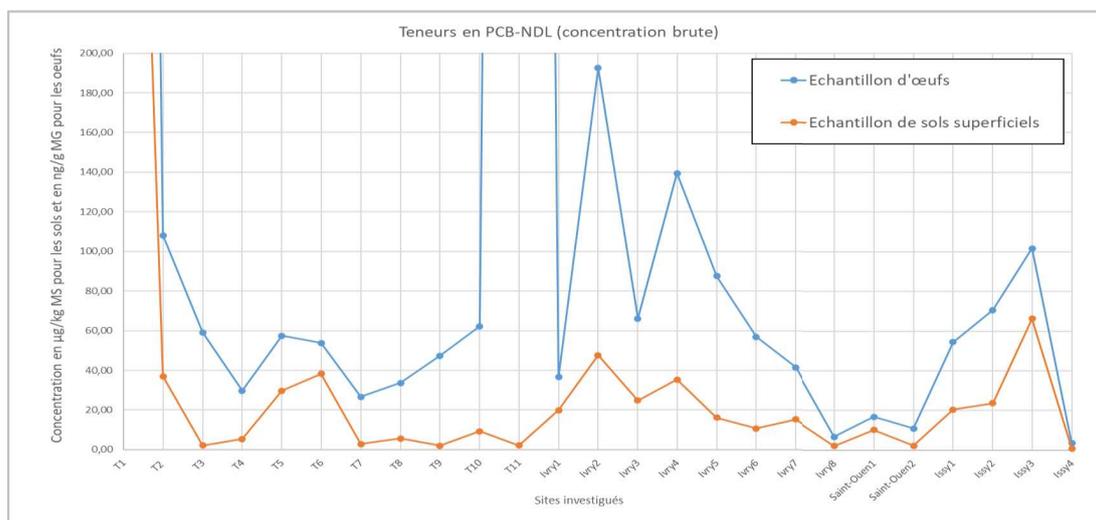
Le graphique précédent semble indiquer de manière générale une certaine corrélation entre les teneurs mesurées en sommes des dioxines/furanes (hors congénères HpCDD/F et OCDD/F) dans les sols superficiels et celles mesurées dans les œufs, hormis quelques exceptions notables pour les sites Ivry3, T3 et T5.

❖ *PCB (DL-NDL)*

Le graphique suivant présente les teneurs mesurées en PCB-DL pour l'ensemble des échantillons prélevés (concentrations en ng/kg MS pour les sols superficiels et en pg/g MG pour les œufs) :



Le graphique suivant présente les teneurs mesurées en PCB-NDL pour l'ensemble des échantillons prélevés (concentrations en $\mu\text{g}/\text{kg}$ MS pour les sols superficiels et en ng/g MG pour les œufs) :



Les graphiques précédents semblent indiquer une certaine corrélation entre les teneurs mesurées en PCB-DL et PCB-NDL dans les sols superficiels et celles mesurées dans les œufs.

5.2.2. Conclusions sur la relation sols superficiels / œufs

Les comparaisons réalisées entre les concentrations mesurées en polluants organiques persistants (dioxines, furanes et PCB) ont permis de mettre en évidence de manière générale une certaine relation entre celles mesurées dans les sols superficiels et celles mesurées dans les œufs, malgré quelques exceptions.

5.3. Facteurs de risques de contamination

5.3.1. Principaux facteurs de risques issus de la littérature

Les hypothèses et les informations tirées de la littérature suggèrent que les principaux facteurs de risques associés à la contamination des denrées alimentaires, tels que les œufs dans cette situation, par des POPs (dioxines, furanes et PCB), incluent les événements suivants (liste non exhaustive) :

- ☞ la qualité chimique des sols accessibles, en cas de contamination de ces derniers, peut constituer une source de contamination par ingestion (voir paragraphe 5.2),
- ☞ l'apport de cendres sur le parcours, peut également constituer une source de contamination en raison de leur richesse en dioxines et furanes, voire en d'autres dérivés toxiques si des déchets (par exemple plastiques) ont été ajoutés,
- ☞ l'alimentation, peut constituer une source de contamination. Néanmoins, celle-ci restant vraisemblablement limitée (alimentation commerciale contrôlée, aliments d'origine végétale ne concentrant pas les POP), seuls les aliments à base de produits d'origine animale et la nature de l'eau consommée semblent constituer un risque de contamination,
- ☞ la disposition des aliments, en cas de contamination des sols, la consommation d'aliments déposés à même le sol ainsi que l'abreuvement dans des flaques peuvent constituer des sources de contamination supplémentaires,
- ☞ l'accès à un parcours extérieur (hors enclos) et la durée d'accès à celui-ci, en cas de contamination des sols du parcours accessible, constitue une source de contamination supplémentaire,
- ☞ le temps de présence des poules au sein du poulailler, en cas de contamination des sols, peut constituer un facteur d'exposition en raison d'une accumulation plus importante de sols contaminés dans le temps via leur ingestion à long terme,

- ↪ l'âge des poules au sein du poulailler, du fait que la ponte a tendance à diminuer avec l'âge et que la ponte est un moyen d'éliminer les polluants, les œufs pondus moins nombreux sont ainsi plus susceptibles d'être plus contaminés,
- ↪ la présence d'une couverture imperméable (toit) sur le parcours quotidien des poules, en cas de contamination des sols, permet de limiter la présence de sols boueux et la formation de flaques et ainsi de limiter l'abreuvement des poules dans ces flaques et également de limiter le contact entre les poules et les boues de manière générale.

Les informations issues des questionnaires d'enquête couplées à l'ensemble des résultats d'analyses obtenus sur les échantillons composites d'œufs de poule et de sols superficiels prélevés au droit des 25 sites investigués permettent de mettre en évidence les éléments suivants :

- ↪ de manière générale concernant le facteur qualité des sols, les œufs les moins contaminés correspondent aux sols superficiels les moins impactés alors que les sols reconnus les plus impactés sont bien associés aux œufs fortement contaminés, confirmant ainsi la relation sols superficiels/œufs mise en évidence dans le paragraphe 5.2. Néanmoins, certaines exceptions ont été relevées pour les échantillons d'œufs **T3-Œuf**, **T9-Œuf** et **T11-Oeuf** pour lesquels une contamination en PCB a été mise en évidence (notamment pour l'échantillon **T11-Œuf**) mais avec des teneurs beaucoup plus faibles relevées dans les échantillons de sols superficiels correspondants (**T3-SSup**, **T9-SSup** et **T11-SSup**). D'après les informations obtenues, les sites **T9** et **T11** ont accueilli de potentiels déchets de démolition issus d'anciens bâtiments industriels et en l'absence d'autre indice flagrant, la présence de zones impactées n'ayant pas fait l'objet de prélèvements lors de la présente campagne n'est pas à exclure. Pour le site **T3**, aucune information sur le passé du site ayant pu impacter les sols n'a été identifiée ; néanmoins, la présence d'une contamination potentielle non connue de ces sols et n'ayant pas fait l'objet de prélèvements lors de notre intervention n'est pas à exclure.
- ↪ concernant l'apport de cendres sur le parcours, les sols des 2 seules parcelles ayant déclaré cette pratique sont reconnus impactés, notamment pour les PCB. Néanmoins, les teneurs mesurées dans les sols superficiels et les œufs, notamment en dioxines/furanes ne sont pas significativement plus élevées par rapport aux autres parcelles non concernées par cette pratique,
- ↪ concernant l'absence d'une couverture imperméable (toit) sur le parcours quotidien des poules, les teneurs mesurées dans les sols superficiels et les œufs ne sont pas significativement plus élevées par rapport aux autres parcelles comportant un toit (partiel ou total) recouvrant l'enclos,
- ↪ en cas de teneurs significatives mesurées en dioxines/furanes et/ou PCB dans les sols superficiels, le temps de présence moyen des poules ne semble pas jouer un rôle important dans la contamination des œufs,
- ↪ concernant les aliments à base de produits d'origine animale et/ou la consommation d'eau de la Seine donnés aux volailles, les échantillons d'œufs des parcelles ayant déclarées ce type de consommation sont reconnus impactés en dioxines/furanes et en PCB. Toutefois, les teneurs mesurées dans les œufs ne sont pas significativement plus élevées par rapport aux autres parcelles non concernées par celui-ci, il reste néanmoins probable que ce type de consommation puisse y contribuer en partie,
- ↪ concernant les facteurs de risques suivants : l'accès à un parcours extérieur et la durée d'accès associée ainsi que la dispersion des aliments à même le sol, sur la base des données disponibles dans le cadre de cette étude, aucune tendance ne semble pouvoir être établie à ce stade.

5.3.2. Conclusions sur les facteurs de risques de contamination

En l'absence de parcelle exempte de tout facteur de risque, il est difficile d'évaluer l'impact des pratiques sur la contamination des œufs. Néanmoins, sur la base des données disponibles, il semble que la mise en œuvre des bonnes pratiques telles que déclarées par les propriétaires ne semblent pas suffisante pour empêcher la contamination en cas de présence de polluants organiques persistants dans les sols en place.

6. Compatibilité sanitaire de l'autoconsommation

Suite à la mise en évidence de dépassements des valeurs réglementaires en vigueur pour les denrées alimentaires pour la majeure partie des teneurs mesurées en somme de dioxines/furanes et PCB-DL au sein des échantillons composites d'œufs de poule, celles-ci ont fait l'objet d'une comparaison avec la dose hebdomadaire tolérable (DHT) existante pour les denrées alimentaires, dans le but de déterminer les risques d'exposition lié à l'autoconsommation et ainsi vérifier la compatibilité sanitaire pour les consommateurs.

La dose hebdomadaire tolérable (DHT) en somme de dioxines/furanes et PCB (Dioxine-Like), d'après les recommandations de l'EFSA de 2015 (Autorité Européenne de la Sécurité des Aliments), correspond à une dose de 2 pg par kg de poids corporel.

Les paramètres pris en compte dans les calculs permettant de comparer la dose hebdomadaire tolérable avec les concentrations mesurées des échantillons composites des œufs de poule sont présentés dans les tableaux suivants :

- Conversion de la dose hebdomadaire tolérable par rapport au type de consommateur :

Consommateur	Poids corporel (p.c) estimé	Dose hebdomadaire tolérable (DHT) en dioxines/furanes et PCB-DL	Dose hebdomadaire tolérable (DHT) en dioxines/furanes et PCB-DL correspondante
Adulte	75 kg	2 pg/kg p.c /semaine	150 pg par semaine
Enfant	25 kg		50 pg par semaine

- Conversion des concentrations mesurées par rapport à la quantité de dioxines/furanes et PCB-DL ramenée à 1 œuf :

Quantité de dioxines/furanes et PCB-DL ramenée à 1 œuf en TEF pg
$[Concentration \text{ en pg/g MG de l'échantillon analysé}] \times [(masse \text{ moyenne d'1 œuf})^{(*)} \times (\% \text{ de MG de l'échantillon analysé}) / 100]$

(*) : en considérant la masse moyenne d'un œuf à 50 grammes.

La comparaison des teneurs mesurées pour les échantillons composites d'œufs de poule dépassant les valeurs réglementaires en vigueur par rapport aux doses tolérables précitées est présentée dans les tableaux ci-dessous :

Dépassements de la valeur réglementaire en dioxines/furanes et en PCB-DL pour 21 échantillons (1/2)								
Référence échantillon	Concentration en dioxines/furanes et PCB-DL mesurée en TEF pg/g de MG	Pourcentage de matière grasse de l'échantillon réalisé en %	Quantité de matière grasse ramenée à 1 œuf en g MG	Quantité de dioxines/furanes et PCB-DL ramenée à 1 œuf en TEF pg	DHT pour un adulte	DHT pour un enfant	Nombre d'œuf max par semaine pour ne pas dépasser DHT/ adulte	Nombre d'œuf max par semaine pour ne pas dépasser DHT / enfant
Ivry1 -Œuf	6,48	11,29	5,65	36,58	150 TEF pg / semaine	50 TEF pg / semaine	4	1
Ivry2-Œuf	21,46	10,27	5,14	110,20			1	0
Ivry3-Œuf	12,93	9,89	4,95	63,94			2	1
Ivry4-Œuf	18,75	11,86	5,93	111,19			1	0
Ivry5-Œuf	15,90	8,42	4,21	66,94			2	1
Ivry6-Œuf	12,99	9,34	4,67	60,66			2	1
Ivry7-Œuf	8,53	12,58	6,29	53,65			3	1
Issy1-Œuf	6,10	12,58	6,29	38,37			4	1
Issy2-Œuf	15,25	9,77	4,89	74,50			2	1
Issy3-Œuf	7,81	12,57	6,29	49,09			3	1

Dépassements de la valeur réglementaire en dioxines/furanes et en PCB-DL pour 21 échantillons composites (2/2)

Référence échantillon	Concentration en dioxines/furanes et PCB-DL mesurée en TEF pg/g de MG	Pourcentage de matière grasse de l'échantillon réalisé en %	Quantité de matière grasse ramenée à 1 œuf en g MG	Quantité de dioxines/furanes et PCB-DL ramenée à 1 œuf en TEF pg	DHT pour un adulte	DHT pour un enfant	Nombre d'œuf max par semaine pour ne pas dépasser DHT/ adulte	Nombre d'œuf max par semaine pour ne pas dépasser DHT / enfant
T1-Œuf	131,13	6,66	3,33	436,66	150 TEF pg / semaine	50 TEF pg / semaine	0	0
T2-Œuf	20,11	8,78	4,39	88,28			2	1
T3-Œuf	22,63	8,14	4,07	92,10			2	1
T4-Œuf	8,39	10,75	5,38	45,10			3	1
T5-Œuf	10,92	11,44	5,72	62,46			2	1
T6-Œuf	13,51	10,19	5,10	68,83			2	1
T7-Œuf	5,76	12,26	6,13	35,31			4	1
T8-Œuf	5,77	11,93	5,97	34,42			4	1
T9-Œuf	7,21	8,43	4,22	30,39			5	2
T10-Œuf	8,87	9,19	4,60	40,76			4	1
T11-Œuf	26,61	9,18	4,59	122,14			1	0

La comparaison des teneurs mesurées au sein des échantillons composites d'œufs de poule présentant des dépassements des valeurs réglementaires en dioxines/furanes/PCB-DL avec la dose hebdomadaire tolérable considérée a permis de mettre en évidence le nombre d'œufs à ne pas dépasser afin de respecter les doses précitées en considérant les teneurs mesurées pour chacun des échantillons composites d'œufs de poule.

La comparaison du nombre d'œufs à ne pas dépasser pour chaque échantillon composite d'œufs de poule dépassant les valeurs réglementaires en vigueur par rapport à l'autoconsommation recensé (via le questionnaire d'enquête) est présentée dans les tableaux ci-dessous :

Dépassements de la valeur réglementaire en dioxines/furanes et en PCB-DL pour 21 échantillons composites (1/2)

Référence échantillon	Concentration mesurée en TEF pg/g de MG	Nombre d'œuf max par semaine pour ne pas dépasser la DHT		Autoconsommation		
		Adulte	Enfant	Mode de gestion du poulailler	Type de consommateur	Nombre d'œuf consommé en moyenne par semaine/personne
Ivry1-Œuf	6,48	4	1	Jardin partagé	Adulte / Enfant	2 à 3
Ivry2-Œuf	21,46	1	0	Etablissement Reçevant du Public	<i>Aucune consommation à la suite de l'étude ToxicoWatch</i>	
Ivry3-Œuf	12,93	2	1	Jardin particulier	Adulte	1 à 2
Ivry4-Œuf	18,75	1	0	Jardin partagé	<i>Aucune consommation à la suite de l'étude ToxicoWatch</i>	
Ivry5-Œuf	15,90	2	1	Jardin particulier	Adulte	2
Ivry6-Œuf	12,99	2	1	Jardin partagé	Adulte / Enfant	Variable
Ivry7-Œuf	8,53	3	1	Jardin particulier	<i>Aucune consommation à la suite de l'étude ToxicoWatch</i>	
Issy1-Œuf	6,10	4	1	Jardin particulier	<i>Aucune consommation</i>	
Issy2-Œuf	15,25	2	1	Jardin particulier	Adulte	2 à 3
Issy3-Œuf	7,81	3	1	Jardin particulier	Adulte	1

Dépassements de la valeur réglementaire en dioxines/furanes et en PCB-DL pour 21 échantillons composites (2/2)

Référence échantillon	Concentration mesurée en TEF pg/g de MG	Nombre d'œuf max par semaine pour ne pas dépasser la DHT		Autoconsommation		
		Adulte	Enfant	Mode de gestion du poulailler	Type de consommateur	Nombre d'œuf consommé en moyenne par semaine/personne
T1-Œuf	131,13	0	0	Jardin partagé	Adulte	Variable
T2-Œuf	20,11	2	1	Jardin particulier	Adulte / Enfant	2
T3-Œuf	22,63	2	1	Etablissement Recevant du Public	Adulte / Enfant	Variable
T4-Œuf	8,39	3	1	Etablissement Recevant du Public	Adulte / Enfant	Variable
T5-Œuf	10,92	2	1	Jardin particulier	Adulte / Enfant	2 à 3
T6-Œuf	13,51	2	1	Jardin particulier	Adulte / Enfant	1
T7-Œuf	5,76	4	1	Jardin partagé	Adulte / Enfant	Variable
T8-Œuf	5,77	4	1	Jardin partagé	Adulte / Enfant	Variable
T9-Œuf	7,21	5	2	Jardin partagé	Adulte / Enfant	Variable
T10-Œuf	8,87	4	1	Etablissement Recevant du Public	Adulte / Enfant	Variable
T11-Œuf	26,61	1	0	Jardin particulier	Adulte / Enfant	2 à 3

La comparaison de la dose hebdomadaire tolérable (DHT) en somme de dioxines/furanes et PCB-DL avec l'autoconsommation recensée pour chacun des sites à l'étude a permis de mettre en évidence plusieurs dépassements, notamment des dépassements importants pour la dose hebdomadaire tolérable appliquée aux enfants.

7. Conclusion

Suite à la réalisation d'une étude environnementale effectuée en 2021 par la fondation ToxicoWatch (rapport publié en février 2022) mettant en évidence la présence de polluants organiques persistants (POP) de type dioxines/furanes (PCDD-F) et polychlorobiphényles (PCB) à des teneurs significatives au sein d'œufs de poule issus de poulaillers domestiques présents à proximité de l'usine d'incinération d'ordures ménagères d'Ivry-sur-Seine (94), l'Agence Régionale de Santé d'Ile-de-France (ARS-IDF) a souhaité réaliser une nouvelle étude portant sur le risque d'exposition humaine au travers des analyses de contamination des œufs de poule issus d'élevages domestiques localisés à proximité de zones d'influence de sources connues d'émission de dioxines/furanes mais également au sein d'élevages localisés en dehors de celles-ci.

Cette étude porte uniquement sur le risque d'exposition humaine au travers des analyses de contamination des œufs de poule issus d'élevages non professionnels (particuliers, jardins partagés, associatifs...).

Dans le cadre de cette étude, l'ARS Ile-de-France a mandaté notre société HPC Envirotec pour la réalisation de prélèvements d'échantillons de denrées alimentaires (œufs de poule) et de sols superficiels au sein de plusieurs poulaillers recensés en région parisienne dans le but de déterminer, après l'analyse de ces matrices par le laboratoire LABERCA (laboratoire agréé), si une pollution diffuse en dioxines/furanes (PCDD-F) et/ou en polychlorobiphényles (PCB) est constatée et si la compatibilité sanitaire est respectée pour les usages recensés (autoconsommation des œufs de poule).

Cette étude (de type DIAG ^(*)) a été réalisée conformément à la norme NFX 31-620-2 « Prestations de services relatives aux sites et sols pollués (étude, ingénierie, réhabilitation de sols pollués et travaux de dépollution) » de l'AFNOR (décembre 2021) ainsi qu'à la méthodologie définie dans la note du Ministère chargé de l'Environnement du 19 avril 2017 et les guides associés.

^(*) : codification des prestations dans la norme NFX 31-620-2 de décembre 2021.

Les investigations de reconnaissance ont été menées par 2 ingénieurs de notre société HPC Envirotec **entre le 08 et le 17 février 2023** sur les milieux d'exposition sols superficiels et denrées alimentaires (œufs de poule) au droit de **25 poulaillers domestiques** localisés en région parisienne.

❖ Résultats d'analyses

L'ensemble des résultats obtenus lors des investigations menées dans le cadre de cette étude ont permis de mettre en évidence la présence de polluants organiques persistants (dioxines, furanes et polychlorobiphényles (PCB)) au sein de l'ensemble des 25 échantillons composites de sols superficiels et d'œufs réalisés.

Concernant les 25 échantillons composites d'œufs de poule réalisés, 21 échantillons ont mis en évidence des dépassements des valeurs réglementaires en vigueur sur les denrées alimentaires.

La répartition des résultats sur l'ensemble des échantillons composites de sols superficiels et d'œufs de poule a permis de mettre en évidence la présence d'une pollution diffuse et une répartition hétérogène des teneurs mesurées avec l'absence de différence notable entre les sites considérés sous ou hors influence de sources connues d'émissions de dioxines/furanes.

En définitive, il apparaît que la contamination en dioxines/furanes et en PCB (DL et NDL) des sols superficiels et des œufs de poule (via l'ingestion des sols superficiels par les volailles) constitue une pollution diffuse en milieu urbain.

Cette contamination est probablement associée :

- ↳ pour les dioxines/furanes, à de multiples sources fixes d'émission tels que les incinérateurs d'ordures ménagères (rejets anciens et/ou actuels), à des sources ponctuelles (notamment associées à des brûlages à l'air libre) et à des sources diffuses, telle que la circulation routière,
- ↳ pour les PCB, à de multiples sources ponctuelles tels que des résidus d'anciens déchets industriels que l'on peut retrouver dans les remblais et/ou dans les revêtements toujours en place (bâts, murs en béton) qui se désagrègent avec le temps et que l'on peut retrouver dans les sols superficiels après ruissellement ou encore d'autres sources diffuses non identifiées à ce stade.

❖ *Comparaison des résultats avec l'étude ToxicoWatch*

Malgré les différences relevées entre les 2 études ainsi que les incertitudes propres à chacune des deux méthodologies appliquées, les teneurs mesurées en dioxines/furanes et en PCB-DL lors de cette campagne menée par l'ARS-IDF ont permis de mettre en évidence des teneurs du même ordre de grandeur que l'étude de ToxicoWatch, sans différence significative.

❖ *Comparaison des profils dioxines/furanes entre les rejets d'incinérateurs et les sols superficiels*

Les comparaisons des profils (composition des dioxines/furanes) des rejets d'incinérateurs d'ordures ménagères par rapport aux profils des échantillons composites de sols superficiels prélevés ne permettent pas à ce stade d'établir une signature similaire entre les rejets d'incinérateurs et les sols superficiels investigués.

❖ *Voie de transfert sols superficiels / œufs*

Les comparaisons réalisées entre les concentrations mesurées en polluants organiques persistants (dioxines, furanes et PCB) dans les sols superficiels et dans les œufs ont permis de mettre en évidence de manière générale une certaine corrélation malgré quelques exceptions.

❖ *Facteurs de risques de contamination*

En l'absence de parcelle exempte de tout facteur de risque, il est difficile d'évaluer l'impact des pratiques sur la contamination des œufs. Néanmoins, sur la base des données disponibles, il semble que la mise en œuvre des bonnes pratiques telles que déclarées par les propriétaires ne semblent pas suffisantes pour empêcher la contamination en cas de présence de polluants organiques persistants dans les sols en place.

❖ *Compatibilité sanitaire de l'autoconsommation*

La comparaison entre le nombre d'œufs à consommer et à ne pas dépasser pour respecter la dose hebdomadaire tolérable (DHT) en somme de dioxines/furanes et PCB-DL et l'autoconsommation recensée pour chacun des sites à l'étude a permis de mettre en évidence plusieurs dépassements, notamment des dépassements importants pour la dose hebdomadaire tolérable appliquée aux enfants.

❖ *Etude statistique complémentaire*

A savoir, qu'en complément du présent rapport, une analyse statistique de l'étude réalisée par l'ARS Île-de-France sera présentée dans une extension du rapport sous l'appellation « Analyse statistique de l'ARS ».



**SUBSTANCES
PER- ET
POLYFLUOROALKY-
LÉES
(PFAS)**



1. CONTEXTE	39
2. DÉFINITION ET ORIGINE	39
3. VOIES D'EXPOSITION ET EFFETS SUR LA SANTÉ	40
4. RÉGLEMENTATION	40
5. RÉSULTATS DES PFAS DANS LES ŒUFS ET SOLS DE L'ÉTUDE FRANCILIENNE	41
Interprétation des résultats et conclusion	42

1. Contexte

Des études menées à Lyon et ses environs en février 2023 sur les PFAS (substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées) ont mis en évidence des concentrations élevées qui ont conduit le Préfet du Rhône à recommander l'arrêt de la consommation des œufs dans 16 communes¹.

Le LABERCA disposant encore des échantillons de sols et œufs de l'étude francilienne prélevés en février 2023, l'ARS Île-de-France a souhaité compléter l'étude en mars en menant une analyse complémentaire sur cette famille de POP.

2. Définition et origine

Les PFAS appartiennent à une famille de composés chimiques synthétiques et sont largement utilisés depuis les années 1950 en raison de leurs propriétés uniques et leur capacités d'imperméabilité à l'eau, de résistance à la chaleur, de répulsion des graisses et d'anti-adhérence dans diverses applications industrielles et produits de consommation, notamment :

- Additif des textiles (vêtements imperméables, tapis...),
- Mousses d'extinction d'incendies,
- Revêtements antiadhésifs,
- Emballages alimentaires,
- Produits cosmétiques (vernis à ongles)
- Produits de nettoyage...

Ces composés chimiques se caractérisent par leur structure moléculaire comprenant des atomes de carbone associés à des atomes de fluor. Cette liaison carbone-fluor est extrêmement résistante à la dégradation chimique, ce qui confère aux PFAS une durabilité exceptionnelle dans l'environnement.

Les PFAS ont la capacité de se déplacer dans différents compartiments environnementaux en raison de leur grande mobilité et de leur stabilité chimique. Ils peuvent s'accumuler dans l'environnement, y compris dans l'air, les eaux superficielles et souterraines, les sols, les organismes vivants et tout au long de la chaîne alimentaire.

Il existe des milliers de composés de PFAS différents, mais les plus connus et les plus étudiés en raison de leur utilisation généralisée et de leur persistance dans l'environnement sont l'acide perfluorooctanoïque (PFOA) et l'acide perfluorooctanesulfonique (PFOS).

> ¹ <https://www.auvergne-rhone-alpes.ars.sante.fr/pfas-focus-sur-la-situation-au-sud-de-lyon>

3. Voies d'exposition et effets sur la santé

Les PFAS sont préoccupants en raison de leur persistance dans l'environnement, de leur capacité à s'accumuler tout au long de la chaîne alimentaire et de leurs effets nocifs sur la santé humaine même à de faibles doses. Les individus sont exposés via l'alimentation en premier lieu (viande, poisson, œufs, légumes, fruits...).

Des liens sont établis entre exposition aux PFAS et effets sur la santé, notamment :

- Effet sur le système immunitaire des enfants (moins bonne réponse vaccinale),
- Perturbations du fonctionnement du foie avec notamment une augmentation du taux de cholestérol et des enzymes sériques
- Diminution du poids de naissance

Certains d'entre eux sont suspectés d'être des perturbateurs endocriniens. Le PFOA est également classé comme possiblement cancérigène (classe 2B), pour une association avec les cancers du rein et du testicule.

Les effets sur la reproduction et le développement sont également préoccupants, avec des altérations observées chez les animaux et des études suggérant des effets tels que la diminution de la mobilité spermatique, des problèmes de développement chez les fœtus et les enfants et des risques accrus de ménopause précoce chez la femme.

L'Autorité Européenne de Sécurité des Aliments (EFSA) a établi en 2020 une dose hebdomadaire tolérable (DHT) de 4,4 nanogrammes par kilogramme de poids corporel pour le PFOA et de 6 nanogrammes par kilogramme de poids corporel pour le PFOS.

4. Réglementation

En raison de ces préoccupations, de nombreuses réglementations ont été mises en place pour limiter l'utilisation et la présence des PFAS dans divers produits.

L'utilisation de certains PFAS est interdite en Europe (PFOA depuis 2020, PFHxS attendu à la suite d'une décision européenne d'avril 2022) ou restreinte (PFOS depuis 2009). Pour le PFOA, le PFOS, le PFNA, le PFHxS, il existe depuis 2023 des teneurs maximales pour les denrées alimentaires, à valeur réglementaire (pour la commercialisation) ou de recommandation. L'eau potable doit respecter une norme (0,1 µg/L pour la somme de 20 PFAS) applicable au 1^{er} janvier 2023 pour des captages analysés par l'administration, avec une obligation de contrôle sanitaire réglementaire qui entrera en vigueur le 1^{er} janvier 2026.

La Commission européenne a mis en place des limites maximales pour les PFAS dans certains aliments depuis le 1^{er} janvier 2023. Ces teneurs maximales sont précisées dans le [nouveau règlement \(UE\) 2022/2388](#). Pour les denrées alimentaires, les limites réglementaires dans les œufs sont listés ci-dessous :

- PFHxS : limite réglementaire 0,3 µg/kg de poids à l'état frais
- PFOS : limite réglementaire 1 µg/kg de poids à l'état frais
- PFOA : limite réglementaire 0,3 µg/kg de poids à l'état frais
- PFNA : limite réglementaire 0,7 µg/kg de poids à l'état frais
- Somme PFAS : limite réglementaire 1,7 µg/kg de poids à l'état frais

Il n'existe pas de valeurs réglementaires pour l'ensemble des PFAS dans les sols.

Le ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires a lancé en 2023 un plan d'action sur les PFAS, pour renforcer la surveillance, la protection des populations et de l'environnement.

5. Résultats des PFAS dans les œufs et sols de l'étude francilienne

Le programme analytique des PFAS vise à détecter, quantifier et caractériser la présence de PFAS dans les échantillons de sols et d'œufs. Les composés de PFAS analysés dans cette étude sont les suivants : PFHxS, PFOA, PFOS, PFNA en µg/kg de poids frais dans les œufs et µg/kg de poids sec dans les sols.

Le LABERCA, Laboratoire National de Référence (LNR) pour les POPs dans les denrées alimentaires, a effectué la campagne de mesure des PFAS sur les échantillons de sols et œufs provenant de poulaillers familiaux franciliens dans le cadre de l'étude menée par l'ARS.

L'ensemble des résultats analytiques des PFAS obtenus sur les échantillons des œufs (µg/kg poids frais) et des sols (µg/kg poids sec) ainsi que les seuils réglementaires européens des œufs commercialisés sont présentés dans le [tableau 1](#).

CHAPITRE 2 : SUBSTANCES PER- ET POLYFLUOROALKYLEES

Tableau 1 : Concentrations des PFAS dans les œufs et les sols

Site	Concentrations dans les œufs					Concentrations dans les sols				
	PFHxS (µg/kg poids frais)	PFOS (µg/kg poids frais)	PFOA (µg/kg poids frais)	PFNA (µg/kg poids frais)	Somme PFAS (µg/kg poids frais)	PFHxS (µg/kg poids sec)	PFOS (µg/kg poids sec)	PFOA (µg/kg poids sec)	PFNA (µg/kg poids sec)	Somme PFAS (µg/kg poids sec)
Ivry1	0,10	3,62	0,14	0,32	4,18	< 0,092	1,90	1,20	0,33	3,40
Ivry2	0,20	2,60	0,43	0,83	4,05	< 0,096	0,77	0,44	0,38	1,60
Ivry3	0,04	0,78	0,04	0,08	0,95	0,120	3,20	0,80	0,28	4,50
Ivry4	0,02	0,63	0,02	0,02	0,70	0,088	1,60	0,31	0,12	2,10
Ivry5	0,11	4,03	0,20	0,42	4,75	< 0,092	2,30	0,53	0,27	3,10
Ivry6	0,28	6,60	0,20	0,38	7,50	< 0,091	1,50	0,58	0,18	2,20
Ivry7	0,02	0,78	0,06	0,10	0,96	< 0,092	0,48	0,29	0,087	0,86
Ivry8	0,02	0,17	0,01	0,01	0,22	< 0,098	0,30	0,10	0,05	0,45
Saint-Ouen1	0,03	9,50	0,05	0,12	9,70	< 0,093	7,80	0,55	0,29	8,70
Saint-Ouen2	0,04	0,39	0,06	0,04	0,53	< 0,097	0,35	0,13	0,050	0,53
Issy1	0,02	2,50	< 0,006	0,03	2,60	< 0,095	0,58	0,12	0,060	0,76
Issy2	0,05	0,51	0,02	0,03	0,62	< 0,095	0,70	0,13	0,054	0,89
Issy3	0,05	1,80	0,07	0,37	2,30	< 0,088	1,40	1,20	3,60	6,20
Issy4	0,01	1,20	0,01	0,04	1,30	< 0,093	0,20	< 0,098	< 0,098	0,20
T1	0,09	3,87	0,02	0,05	4,02	0,110	2,70	0,20	0,067	3,00
T2	0,03	2,20	0,10	0,17	2,50	< 0,096	3,00	0,50	0,34	3,80
T3	0,03	0,97	0,06	0,07	1,13	< 0,096	0,53	0,35	0,57	0,94
T4	0,05	1,18	0,04	0,11	1,38	< 0,093	0,78	0,30	0,12	1,20
T5	0,01	0,51	0,01	0,03	0,56	< 0,095	1,10	0,40	0,17	1,70
T6	0,02	0,89	0,06	0,09	1,10	< 0,094	1,20	0,51	0,22	1,90
T7	0,56	3,35	0,72	1,04	5,67	< 0,093	0,61	0,39	0,18	1,20
T8	0,03	1,40	0,06	0,20	1,70	< 0,094	0,65	0,18	0,15	0,98
T9	0,05	0,50	0,03	0,06	0,63	< 0,094	0,30	0,21	0,09	0,61
T10	0,59	3,44	0,15	0,18	4,35	< 0,096	1,00	0,44	0,14	1,60
T11	0,02	0,27	0,03	0,03	0,35	< 0,100	0,18	0,093	< 0,053	0,28
Valeurs réglementaires européennes pour les œufs commercialisés	0,3	1	0,3	0,7	1,7	-	-	-	-	-

 Valeurs supérieures aux valeurs réglementaires pour les œufs commercialisés

Interprétation des résultats et conclusion

Les résultats des analyses obtenus mettent en évidence une présence de différents composés des PFAS dans l'ensemble des échantillons d'œufs et les sols.

Les principales observations basées sur les données sont les suivantes :

- Les concentrations de PFAS dans les œufs et les sols varient d'un site à l'autre, ainsi que d'un composé de PFAS à l'autre.
- Les dépassements des valeurs réglementaires européennes dans les œufs sont principalement liés à une molécule : le PFOS.

Globalement, les résultats mettent en évidence des concentrations en PFAS supérieures aux valeurs réglementaires européennes pour une partie des échantillons d'œufs, mais dans des proportions moindres que celles retrouvées dans l'étude de Lyon.



ANALYSE STATISTIQUE DES RESULTATS



1. RÉCAPITULATIF DES CONCENTRATIONS DES POPS DANS LES ŒUFS	46
Interprétation des résultats.....	47
2. ANALYSE STATISTIQUE DES RÉSULTATS DE L'ÉTUDE	47
2.1. LES VARIABLES DE L'ÉTUDE.....	47
2.2. ANALYSE STATISTIQUE DESCRIPTIVE.....	50
Normalité des données.....	50
Variabilité et coefficients de variation.....	50
2.3. ÉTUDE DES LIENS ENTRE LES NIVEAUX DE CONTAMINATION DES ŒUFS ET DES SOLS	51
Hypothèse étudiée.....	51
Méthode statistique : Corrélation de Spearman.....	51
Interprétation des résultats.....	53
2.4. ÉTUDE DE L'INFLUENCE DES SOURCES FIXES CONNUES D'ÉMISSION DE PCDD/F SUR LES CONCENTRATIONS OBSERVÉES DANS LES ŒUFS ET LES SOLS	53
Hypothèse étudiée.....	53
Méthode statistique 1 : Corrélation de Spearman.....	54
Interprétation des résultats.....	55
Méthode statistique 2 : Mann-Whitney.....	55
Interprétation des résultats.....	55
2.5. ÉTUDE DE L'IMPACT DES CONDITIONS D'ÉLEVAGE SUR LES CONCENTRATIONS DES POPS DANS LES ŒUFS	56
Hypothèse étudiée.....	56
Choix des facteurs de risque :.....	56
Méthode statistique : Mann-Whitney (étude de l'influence des facteurs de risque).....	57
Interprétation des résultats.....	58
2.6. ÉTUDE DE L'INFLUENCE DE L'APPLICATION DES BONNES PRATIQUES D'ELEVAGE RECOMMANDÉES PAR L'ANSES	60
Hypothèse étudiée.....	60
Méthode statistique : Mann-Whitney.....	60
Interprétation des résultats.....	61
2.7. ÉTUDE DE L'INFLUENCE DU MODE DE GESTION DES POULAILLERS SUR LES CONCENTRATIONS DES POPS DANS LES ŒUFS	61
Hypothèse étudiée.....	61
Méthode statistique.....	61
Interprétation des résultats.....	62

3. LIMITES DE L'ÉTUDE	62
Type de l'échantillon	62
Complexité et interaction des facteurs de risque	62
Taille de l'échantillon	62
Distribution des données	63
Type des tests utilisés	63

1. Récapitulatif des concentrations des POPs dans les œufs

Le **tableau 2** ci-dessous présente les concentrations des POPs dans les œufs prélevés des différents sites et les valeurs réglementaires européennes dans les œufs commercialisés pour chaque classe de polluant.

Tableau 2 : Synthèse des concentrations des POPs dans les œufs comparées aux valeurs réglementaires européennes applicables aux denrées alimentaires (œufs commercialisés)

Site	PCDD/F (pg/g MG)	PCDD/F + PCB DL (pg/g MG)	PCB NDL (ng/g MG)	PFHxS (µg/kg poids frais)	PFOS (µg/kg poids frais)	PFOA (µg/kg poids frais)	PFNA (µg/kg poids frais)	Somme PFAS (µg/kg poids frais)	conformité générale de l'échantillon
Ivry1	2,76	6,48	36,6	0,104	3,615	0,142	0,322	4,183	NC
Ivry2	6,19	21,46	192,5	0,195	2,596	0,427	0,828	4,046	NC
Ivry3	4,53	12,93	66,2	0,042	0,781	0,042	0,082	0,947	NC
Ivry4	5,75	18,75	139,4	0,019	0,630	0,024	0,023	0,700	NC
Ivry5	6,42	15,90	87,51	0,107	4,027	0,201	0,416	4,751	NC
Ivry6	5,61	12,99	56,91	0,280	6,600	0,200	0,380	7,500	NC
Ivry7	3,06	8,53	41,5	0,020	0,775	0,061	0,101	0,957	NC
Ivry8	0,54	1,58	6,79	0,023	0,173	0,012	0,014	0,222	C
Saint-Ouen1	1,16	3,24	16,86	0,029	9,500	0,045	0,120	9,700	NC
Saint-Ouen2	2,02	3,94	10,99	0,039	0,386	0,058	0,043	0,526	C
Issy1	1,26	6,10	54,55	0,017	2,500	< 0,006	0,030	2,600	NC
Issy2	8,79	15,25	70,56	0,049	0,512	0,024	0,031	0,616	NC
Issy3	3,71	7,81	101,72	0,053	1,800	0,068	0,370	2,300	NC
Issy4	0,87	1,54	3,51	0,009	1,200	0,005	0,043	1,300	NC
T1	4,31	131,13	1626,2	0,088	3,866	0,020	0,047	4,020	NC
T2	3,97	20,11	108,1	0,033	2,200	0,096	0,170	2,500	NC
T3	5,51	22,63	59,11	0,029	0,965	0,058	0,074	1,125	NC
T4	3,44	8,39	29,8	0,052	1,183	0,040	0,108	1,383	NC
T5	2,28	10,92	57,50	0,011	0,507	0,012	0,032	0,562	NC
T6	4,07	13,51	53,8	0,023	0,890	0,062	0,086	1,100	NC
T7	1,83	5,76	26,6	0,557	3,351	0,722	1,038	5,669	NC
T8	2,01	5,77	33,7	0,033	1,400	0,055	0,200	1,700	NC
T9	1,69	7,21	47,3	0,051	0,495	0,026	0,055	0,626	NC
T10	2,34	8,87	62,14	0,588	3,438	0,152	0,175	4,353	NC
T11	2,29	26,61	2097,57	0,019	0,274	0,026	0,032	0,351	NC
Valeurs réglementaires européennes	règlement (CE) n°1881/2006			nouveau règlement (UE) 2022/2388					
	2,5	5	40	0,3	1	0,3	0,7	1,7	

C : conforme
 NC : non conforme

Interprétation des résultats

Pour chaque site, les concentrations sont comparées aux valeurs réglementaires européennes applicables aux œufs du commerce pour l'ensemble des POPs considérés.

En référence aux seuils réglementaires européens applicables aux œufs du commerce, **23 échantillons sur les 25 de l'étude francilienne seraient considérés non-conformes.**

Il est important de rappeler que les valeurs réglementaires européennes sont définies pour différents types de denrées alimentaires et sont établies pour assurer une sécurité alimentaire globale prenant en considération la diversité du régime alimentaire de la population.

En conséquence, le dépassement des valeurs réglementaires pour les œufs analysés dans le cadre de cette étude n'induit pas que leur consommation engendre des effets sanitaires pour leurs consommateurs.

En revanche, une consommation régulière de ces œufs (plusieurs fois par semaine pendant plusieurs années) conduit à une surexposition des consommateurs à ces familles de polluants organiques persistants, augmentant leur probabilité de développer au cours de leur vie des effets sur leur santé, attribuables à ces polluants.

2. Analyse statistique des résultats de l'étude

2.1. Les variables de l'étude

Les variables de l'étude qui ont servi dans l'analyse statistique sont représentées dans le **tableau 3** et listées ci-dessous :

- Variables dépendantes de l'étude (mesures quantitatives continues) :
 - > Somme PCDD relevée dans les œufs (pg/g MG) et les sols (ng/kg poids sec)
 - > Somme PCDF relevée dans les œufs (pg/g MG) et les sols (ng/kg poids sec)
 - > Somme PCDD sans les formes hepta et octa relevée dans les œufs (pg/g MG) et les sols (ng/kg poids sec)²
 - > Somme PCDF sans les formes hepta et octa relevée dans les œufs (pg/g MG) et les sols (ng/kg poids sec)¹
 - > Somme PCB dioxine-like relevée dans les œufs (pg/g MG) et les sols (ng/kg poids sec)
 - > Somme PCB non dioxine-like relevée dans les œufs (ng/g MG) et les sols (µg/kg poids sec)

² Les termes « hepta » et « octa » font référence au nombre d'atomes de chlore sur la structure des PCDD et PCDF. Le préfixe « hepta » indique qu'il existe 7 atomes de chlore sur la structure des PCDD et PCDF et « octa » indique qu'il y a huit atomes de chlore. Les formes hepta et octa ont été retirées de la somme des teneurs mesurées pour les échantillons de sols et des œufs en raison de leur métabolisation et élimination par les poules. En conséquence, on les retrouve moins dans les œufs.

- > Somme PCB dioxine-like et non dioxine-like relevée dans les œufs (pg/g MG) et les sols (ng/kg poids sec)
- > Somme PFAS (PFHxS, PFOS, PFOA, PFNA) relevée dans les œufs (µg/kg poids frais) et les sols (µg/kg poids sec)

Pour établir les variables ci-dessus, les facteurs d'équivalence toxique (TEF) pour les PCDD, PCDF et PCB n'ont pas été appliqués. Les concentrations correspondent donc à la somme des valeurs brutes de tous les congénères analysés pour chacune des familles de POP.

- Variables indépendantes de l'étude (caractéristiques du poulailler et de son environnement) :
 - > Présence d'un mur dégradé à proximité du poulailler,
 - > Accès des poules au parcours extérieur,
 - > Durée d'accès de la poule à l'extérieur par jour,
 - > Application de cendres sur le parcours extérieur,
 - > Temps de séjour des poules sur site,
 - > Origine des aliments,
 - > Dépôt des aliments au sol,
 - > Nature de l'eau mise à disposition des poules,
 - > Toiture de l'enclos.

CHAPITRE 3 : ANALYSE STATISTIQUE DES RESULTATS

Tableau 3 : Inventaire des données

Site	Somme PCDD (pg/g MG)	Somme PCDF (pg/g MG)	Somme PCDD sans hept et octa (pg/g MG)	Somme PCDF sans hept et octa (pg/g MG)	PCB DL (pg/g MG)	PCB NDL (ng/g MG)	Somme PCB DL+NDL (pg/g MG)	Somme PFAS (µg/kg poids frais)	Somme PCDD (ng/kg poids sec)	Somme PCDF (ng/kg poids sec)	Somme PCDD sans hept et octa (ng/kg poids sec)	Somme PCDF sans hept et octa (ng/kg poids sec)	PCB DL (ng/kg poids sec)	PCB NDL (µg/kg poids sec)	Somme PCB DL+NDL (ng/kg poids sec)	Somme PFAS (µg/kg poids sec)	Mode de gestion du poulailler	Murs dégradés	accès au parcours extérieur	durée d'accès au parcours extérieur /jour	présence de cendre	temps de séjour de la poule sur site	Alimentation strictement commerciale	dépôts des aliments au sol	Nature de l'eau	Enclos couvert	Distance de la source fixe d'émission de PCDD/F la plus proche (m)
Ivry1	37,21	15,01	3,90	11,50	13544	36,61	50152	4,18	214,90	76,90	6,85	24,69	7110	19,95	27061	3,40	amateur	non	oui	≤3h	non	<1an	non	non	potable	Non	2700
Ivry2	96,16	29,74	10,89	23,88	120344	192,45	312797	4,05	365,30	50,25	6,91	17,49	18231	47,69	65926	1,60	professionnel	oui	non	-	non	1-2ans	non	non	potable	Non	2800
Ivry3	86,21	17,66	6,65	15,90	17723	66,15	83874	0,95	11645,74	199,66	31,80	42,35	10408	24,77	35176	4,50	amateur	oui	oui	≤3h	non	1-2ans	non	oui	récupération	Non	2130
Ivry4	104,85	29,62	8,66	22,48	54618	139,42	194037	0,70	1247,37	99,94	10,77	23,49	16406	35,34	51743	2,10	amateur	non	oui	≤3h	non	5-6ans	non	oui	potable	partiel	870
Ivry5	157,42	34,13	10,11	25,05	19566	87,51	107073	4,75	575,74	76,94	11,02	27,82	4729	16,18	20904	3,10	amateur	oui	oui	≥8h	non	1-2ans	non	non	récupération	Non	2900
Ivry6	904,42	28,98	10,09	17,86	13409	56,91	70315	7,50	1246,44	62,76	7,38	12,61	3101	10,66	13757	2,20	amateur	non	oui	≥8h	non	5-6ans	non	non	potable	Non	2400
Ivry7	26,11	13,71	4,39	12,07	12217	41,50	53718	0,96	104,87	40,01	5,68	17,43	5102	15,35	20453	0,86	amateur	non	oui	≥8h	non	3-4ans	non	oui	potable	-	1000
Ivry8	4,46	1,94	0,75	1,60	2336	6,79	9122	0,22	61,63	5,40	0,92	1,66	604	2,18	2784	0,45	professionnel	non	non	-	non	3-4ans	oui	non	potable	partiel	1600
Saint-Ouen1	10,78	5,07	1,67	4,44	4971	16,86	21832	9,70	125,76	20,01	2,46	8,32	2717	10,31	13025	8,70	amateur	oui	oui	≥8h	non	5-6ans	non	non	potable	partiel	2400
Saint-Ouen2	19,60	9,42	3,14	7,94	2944	10,99	13936	0,53	78,25	10,19	1,33	3,73	691	2,22	2908	0,53	professionnel	non	non	-	non	3-4ans	oui	non	potable	partiel	2300
Issy1	12,32	4,79	1,69	4,35	12012	54,55	66558	2,60	306,83	28,24	4,06	9,25	6513	20,46	26974	0,76	amateur	non	oui	≥8h	non	1-2ans	non	non	potable	Non	2120
Issy2	68,83	35,67	13,19	31,27	12563	70,56	83122	0,62	438,87	71,01	10,92	27,13	5327	23,75	29074	0,89	amateur	non	non	-	non	3-4ans	non	non	récupération	partiel	2160
Issy3	40,12	15,44	5,75	13,56	10266	101,72	111981	2,30	1061,19	93,30	12,06	26,44	11021	66,20	77224	6,20	amateur	non	oui	≥8h	oui	1-2ans	non	non	récupération	Total	2220
Issy4	10,66	3,67	1,66	2,90	953	3,51	4464	1,30	38,16	6,62	1,01	2,18	290	0,87	1165	0,20	professionnel	non	non	-	non	<1an	non	non	potable	partiel	2500
T1	16,10	22,41	3,38	21,91	1267427	1626,19	2893616	4,02	146,58	27,74	3,33	14,14	387552	618,84	1006389	3,00	amateur	oui	oui	≤3h	non	5-6ans	non	non	potable	partiel	5100
T2	91,93	20,00	5,29	16,77	49006	108,14	157150	2,50	249,76	42,91	4,41	18,79	8972	37,06	46030	3,80	amateur	oui	oui	≥8h	non	<1an	non	non	potable	-	4300
T3	122,45	27,62	11,58	19,44	59640	59,11	118747	1,13	72,25	16,36	1,70	5,31	717	2,12	2841	0,94	professionnel	non	oui	≥8h	non	1-2ans	non	non	potable	Non	4800
T4	43,35	18,30	5,15	15,31	11152	29,78	40929	1,38	114,39	28,42	3,65	12,02	1628	5,38	7005	1,20	professionnel	non	oui	≤3h	non	3-4ans	oui	non	potable	Non	3400
T5	46,38	11,59	3,63	9,27	18455	57,50	75951	0,56	853,21	76,94	10,03	23,59	9203	29,75	38948	1,70	amateur	non	oui	≥8h	non	3-4ans	non	non	potable	partiel	3700
T6	116,78	20,21	6,18	15,45	33007	53,84	86849	1,10	511,02	89,61	6,91	20,30	15249	38,19	53443	1,90	amateur	non	oui	≤3h	oui	1-2ans	oui	oui	potable	partiel	3400
T7	78,27	5,66	3,56	5,00	8606	26,57	35177	5,67	118,77	11,00	1,06	1,87	795	2,78	3571	1,20	amateur	non	oui	≤3h	non	3-4ans	non	oui	potable	Non	4000
T8	172,48	7,46	3,89	5,07	13693	33,67	47361	1,70	284,36	10,10	1,40	1,83	1930	5,65	7577	0,98	amateur	oui	oui	≤3h	non	1-2ans	non	oui	potable	Non	3800
T9	27,39	6,43	2,51	5,61	27871	47,33	75205	0,63	70,85	8,07	0,87	2,15	686	1,99	2679	0,61	amateur	oui	oui	≥8h	non	1-2ans	non	oui	récupération	Non	4000
T10	31,00	11,10	3,49	9,71	10942	62,14	73084	4,35	157,54	26,78	3,02	8,42	2543	9,32	11868	1,60	professionnel	non	oui	≥8h	non	1-2ans	oui	non	potable	Non	3300
T11	23,38	10,27	3,92	9,05	129766	2097,57	2227337	0,35	69,53	4,60	1,67	1,49	372	2,17	2539	0,28	amateur	non	oui	≤3h	non	<1an	oui	non	potable	Total	3200

■ Concentrations dans les œufs
■ Concentrations dans les sols
■ Potentiels facteurs de risque

2.2. Analyse statistique descriptive

Le **tableau 4** présente l'analyse descriptive de la population (échantillon de taille n=25) pour les différentes variables liées aux concentrations en PCDD, PCDF, PCB et PFAS dans les œufs et les sols.

Tableau 4 : Analyse descriptive

Variable	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Coefficient de variation	Shapiro-Wilk	p de Shapiro-Wilk	Etendue	Minimum	Maximum
Somme PCDD (œufs)	93.95	43.35	175.41	1.867	0.434	< .001*	899.96	4.46	904.42
Somme PCDD (sols)	806.37	214.90	2288.19	2.838	0.321	< .001*	11607.58	38.16	11645.74
Somme PCDF (œufs)	16.24	15.01	10.14	0.624	0.938	0.131	33.73	1.94	35.67
Somme PCDF (sols)	47.35	28.42	44.48	0.939	0.823	< .001*	195.06	4.60	199.66
PCDD sans hepta et octa (œufs)	5.41	3.92	3.45	0.638	0.900	0.019*	12.44	0.75	13.19
PCDD sans hepta et octa (sols)	6.05	4.06	6.51	1.076	0.708	< .001*	30.93	0.87	31.80
PCDF sans hepta et octa (œufs)	13.10	12.07	7.90	0.603	0.958	0.370	29.67	1.60	31.27
PCDF sans hepta et octa (sols)	14.18	12.61	10.928	0.770	0.917	0.044*	40.86	1.49	42.35
Somme PCB DL+NDL (œufs)	280575	75205	695917	2.480	0.391	< .001*	2.889×10 ⁶	4464.00	2.894×10 ⁶
Somme PCB DL+NDL (sols)	62842	20453	197760	3.147	0.289	< .001*	1.005×10 ⁶	1165.00	1.006×10 ⁶
Somme PFAS (œufs)	2.55	1.38	2.44	0.956	0.830	< .001*	9.48	0.22	9.70
Somme PFAS (sols)	2.11	1.60	2.01	0.952	0.800	< .001*	8.50	0.20	8.70

* p < 0.05 différence significative
p > 0.05 différence non significative

Normalité des données

Le test de **Shapiro-Wilk** est utilisé pour tester la normalité de la distribution des données. La statistique de Wilk étant significative ($p < 0,05$), les données sont considérées comme ne suivant pas une distribution normale : distribution non gaussienne pour 10 variables sur 12. Par conséquent, les tests statistiques utilisés dans cette étude correspondent à des tests non-paramétriques.

Diverses stratégies d'analyse ont été réalisées car les mesures ont une distribution quantitative non gaussienne, non-paramétrique, et avec une forte variance (valeurs extrêmes).

Variabilité et coefficients de variation

Les concentrations de PCDD dans les œufs et les sols varient considérablement. Les coefficients de variation (CV) indiquent la variabilité des données. Ces coefficients sont relativement élevés pour les concentrations de PCDD dans les œufs et les sols, indiquant une variation importante entre les échantillons.

Pour les PCDD sans les formes hepta et octa, les coefficients de variation pour ces composés sont relativement bas, indiquant une variation plus faible entre les échantillons.

Les concentrations de PCB DL et NDL dans les œufs et les sols varient considérablement. Les CV indiquent une variation importante entre les échantillons, notamment dans les sols.

Pour les PCDF et les PFAS, les CV indiquent une variation modérée entre les échantillons.

Globalement, les résultats montrent une variabilité importante des concentrations des PCDD et des PCB dans les œufs et les sols.

2.3. Etude des liens entre les niveaux de contamination des œufs et des sols

Hypothèse étudiée

Le niveau de contamination des œufs est-il en lien étroit avec le niveau de contamination du sol du parcours accessible aux poules ? Autrement dit, est-ce que le sol est une source majoritaire d'exposition des poules aux POP, et par conséquent de contamination des œufs ?

Méthode statistique : Corrélation de Spearman

Les coefficients de corrélation (R) mesurent la relation linéaire entre deux variables quantitatives. Les valeurs des coefficients de corrélation peuvent varier de -1 à +1 et ont été utilisés pour examiner la probabilité qui mesure le degré de certitude (p) et la direction de la relation (signe du coefficient) entre les variables. Une valeur absolue du coefficient (R) proche de 1, indique une corrélation forte, tandis qu'une valeur proche de 0 indique une corrélation faible ou inexistante. Il est important de noter que la corrélation ne signifie pas nécessairement une relation de cause à effet entre les variables. Elle peut simplement indiquer une association statistique entre les variables étudiées.

Pour déterminer si le coefficient de corrélation (R) est statistiquement significatif, sa valeur est comparée au seuil de 0,5, avec :

- Valeur de $R < 0,5$: la corrélation n'est pas statistiquement significative
- Valeur de $R \geq 0,5$: la corrélation est statistiquement significative
- Valeur de $R \geq 0,7$: la corrélation est statistiquement très significative

La valeur de p est ensuite comparée au seuil de signification $\alpha = 0,05$ (seuil qui indique la significativité de la corrélation, correspondant donc à un risque de 5% de conclure à tort qu'une corrélation existe).

Dans cette étude, le test utilisé pour illustrer les différents schémas d'importance et de sens des liens entre les variables est le **test de Spearman**, étant donné que les données ne suivent pas la loi Normale. Le **tableau 5** illustre la matrice de corrélation de Spearman de l'étude.

CHAPITRE 3 : ANALYSE STATISTIQUE DES RESULTATS

Tableau 5 : Matrice de corrélation de Spearman – Etude de la relation entre les concentrations POP dans les œufs et les sols

	Somme PCDD (pg/g MG)	Somme PCDF (pg/g MG)	Somme PCDD sans hept et octa (pg/g MG)	Somme PCDF sans hept et octa (pg/g MG)	PCB DL (pg/g MG)	PCB NDL (ng/g MG)	Somme PCB DL+NDL (pg/g MG)	PFHxS (µg/kg poids frais)	PFOS (µg/kg poids frais)	PFOA (µg/kg poids frais)	PFNA (µg/kg poids frais)	Somme PFAS (µg/kg poids frais)	Somme PCDD (ng/kg poids sec)	Somme PCDF (ng/kg poids sec)	Somme PCDD sanshept et octa (ng/kg poids sec)	Somme PCDF sans hept et octa (ng/kg poids sec)	PCB DL (ng/kg poids sec)	PCB NDL (µg/kg poids sec)	Somme PCB DL+NDL (ng/kg poids sec)	PFHxS (µg/kg poids sec)	PFOS (µg/kg poids sec)	PFOA (µg/kg poids sec)	PFNA (µg/kg poids sec)	Somme PFAS (µg/kg poids sec)
Somme PCDD (pg/g MG)	1,00	0,68	0,80	0,63	0,48	0,35	0,41	0,30	0,19	0,54	0,47	0,22	0,62	0,51	0,49	0,39	0,33	0,28	0,32	-0,19	0,35	0,48	0,54	0,38
Somme PCDF (pg/g MG)	0,68	1,00	0,90	0,99	0,61	0,67	0,69	0,36	0,18	0,33	0,23	0,13	0,58	0,67	0,71	0,69	0,59	0,56	0,60	0,09	0,48	0,40	0,34	0,44
Somme PCDD sans hept et octa (pg/g MG)	0,80	0,90	1,00	0,88	0,52	0,59	0,61	0,27	0,06	0,41	0,30	0,05	0,58	0,64	0,71	0,61	0,44	0,41	0,44	0,01	0,32	0,42	0,45	0,35
Somme PCDF sans hept et octa (pg/g MG)	0,63	0,99	0,88	1,00	0,62	0,71	0,72	0,37	0,17	0,31	0,21	0,11	0,55	0,65	0,70	0,69	0,60	0,57	0,60	0,16	0,49	0,38	0,32	0,45
PCB DL (pg/g MG)	0,48	0,61	0,52	0,62	1,00	0,77	0,87	0,02	-0,03	0,06	-0,03	-0,08	0,27	0,26	0,29	0,25	0,45	0,39	0,40	0,28	0,23	0,10	0,20	0,21
PCB NDL (ng/g MG)	0,35	0,67	0,59	0,71	0,77	1,00	0,96	0,18	0,08	0,11	0,02	0,02	0,48	0,44	0,56	0,47	0,58	0,60	0,59	0,41	0,35	0,20	0,20	0,36
Somme PCB DL+NDL (pg/g MG)	0,41	0,69	0,61	0,72	0,87	0,96	1,00	0,10	0,02	0,10	0,00	-0,04	0,41	0,42	0,49	0,43	0,58	0,58	0,58	0,36	0,32	0,20	0,26	0,34
PFHxS (µg/kg poids frais)	0,30	0,36	0,27	0,37	0,02	0,18	0,10	1,00	0,57	0,71	0,70	0,61	0,19	0,13	0,13	0,16	0,11	0,11	0,13	-0,04	0,32	0,45	0,29	0,36
PFOS (µg/kg poids frais)	0,19	0,18	0,06	0,17	-0,03	0,08	0,02	0,57	1,00	0,55	0,72	0,98	0,27	0,19	0,19	0,19	0,29	0,28	0,30	-0,25	0,59	0,56	0,53	0,61
PFOA (µg/kg poids frais)	0,54	0,33	0,41	0,31	0,06	0,11	0,10	0,71	0,55	1,00	0,91	0,63	0,21	0,20	0,17	0,14	0,12	0,12	0,14	-0,28	0,29	0,63	0,62	0,41
PFNA (µg/kg poids frais)	0,47	0,23	0,30	0,21	-0,03	0,02	0,00	0,70	0,72	0,91	1,00	0,78	0,24	0,21	0,18	0,17	0,16	0,16	0,18	-0,41	0,38	0,68	0,69	0,51
Somme PFAS (µg/kg poids frais)	0,22	0,13	0,05	0,11	-0,08	0,02	-0,04	0,61	0,98	0,63	0,78	1,00	0,24	0,15	0,13	0,13	0,22	0,21	0,22	-0,31	0,53	0,56	0,55	0,56
Somme PCDD (ng/kg poids sec)	0,62	0,58	0,58	0,55	0,27	0,48	0,41	0,19	0,27	0,21	0,24	0,24	1,00	0,88	0,88	0,78	0,77	0,76	0,77	0,00	0,69	0,62	0,42	0,68
Somme PCDF (ng/kg poids sec)	0,51	0,67	0,64	0,65	0,26	0,44	0,42	0,13	0,19	0,20	0,21	0,15	0,88	1,00	0,95	0,95	0,82	0,79	0,81	-0,06	0,70	0,69	0,48	0,71
Somme PCDD sans hept et octa (ng/kg poids sec)	0,49	0,71	0,71	0,70	0,29	0,56	0,49	0,13	0,19	0,17	0,18	0,13	0,88	0,95	1,00	0,93	0,77	0,77	0,78	0,04	0,65	0,61	0,41	0,64
Somme PCDF sans hept et octa (ng/kg poids sec)	0,39	0,69	0,61	0,69	0,25	0,47	0,43	0,16	0,19	0,14	0,17	0,13	0,78	0,95	0,93	1,00	0,78	0,77	0,79	0,05	0,69	0,63	0,42	0,67
PCB DL (ng/kg poids sec)	0,33	0,59	0,44	0,60	0,45	0,58	0,58	0,11	0,29	0,12	0,16	0,22	0,77	0,82	0,77	0,78	1,00	0,98	0,99	0,17	0,70	0,52	0,40	0,68
PCB NDL (µg/kg poids sec)	0,28	0,56	0,41	0,57	0,39	0,60	0,58	0,11	0,28	0,12	0,16	0,21	0,76	0,79	0,77	0,77	0,98	1,00	0,99	0,19	0,69	0,49	0,36	0,68
Somme PCB DL+NDL (ng/kg poids sec)	0,32	0,60	0,44	0,60	0,40	0,59	0,58	0,13	0,30	0,14	0,18	0,22	0,77	0,81	0,78	0,79	0,99	0,99	1,00	0,16	0,71	0,52	0,40	0,70
PFHxS (µg/kg poids sec)	-0,19	0,09	0,01	0,16	0,28	0,41	0,36	-0,04	-0,25	-0,28	-0,41	-0,31	0,00	-0,06	0,04	0,05	0,17	0,19	0,16	1,00	0,00	-0,24	-0,21	-0,09
PFOS (µg/kg poids sec)	0,35	0,48	0,32	0,49	0,23	0,35	0,32	0,32	0,59	0,29	0,38	0,53	0,69	0,70	0,65	0,69	0,70	0,69	0,71	0,00	1,00	0,78	0,58	0,96
PFOA (µg/kg poids sec)	0,48	0,40	0,42	0,38	0,10	0,20	0,20	0,45	0,56	0,63	0,68	0,56	0,62	0,69	0,61	0,63	0,52	0,49	0,52	-0,24	0,78	1,00	0,85	0,88
PFNA (µg/kg poids sec)	0,54	0,34	0,45	0,32	0,20	0,20	0,26	0,29	0,53	0,62	0,69	0,55	0,42	0,48	0,41	0,42	0,40	0,36	0,40	-0,21	0,58	0,85	1,00	0,72
Somme PFAS (µg/kg poids sec)	0,38	0,44	0,35	0,45	0,21	0,36	0,34	0,36	0,61	0,41	0,51	0,56	0,68	0,71	0,64	0,67	0,68	0,68	0,70	-0,09	0,96	0,88	0,72	1,00

■ $R \geq 0.5$ corrélation significative
■ $R \geq 0.7$ corrélation très significative

concentrations dans les œufs
 concentrations dans les sols

Interprétation des résultats

Dans cette matrice, chaque cellule représente le coefficient de corrélation entre deux variables spécifiques. Par exemple, la première ligne et la première colonne correspondent à la variable « Somme PCDD (pg/g de MG) », et les valeurs dans cette ligne et cette colonne représentent les coefficients de corrélation de cette variable avec les autres variables.

Les concentrations de PCDD et PCDF dans les œufs et les sols sont corrélées positivement entre elles, indiquant une relation étroite entre ces deux groupes de composés.

Les concentrations de PFAS et PCB dans les œufs et les sols sont corrélées positivement avec les concentrations de PCDD et PCDF, bien que les corrélations soient généralement plus faibles.

Globalement, la corrélation de Spearman entre concentrations des POP (toutes les familles) mesurées dans les sols et dans les œufs est statistiquement positive ($p > 0,5$) au niveau de α (0.05). Ceci indique que les concentrations des POPs dans les œufs et dans les sols varient de manière similaire. Cette corrélation est d'autant plus significative ($p > 0,7$) dans le cas où les formes « hepta » et « octa » sont retirées de la somme des mesures en PCDD et PCDF.

- **Pour l'ensemble des familles de POPs étudiées, la corrélation entre la concentration observée dans les œufs et celle mesurée dans les sols est statistiquement significative. Si les particules de sol contaminées ne sont pas l'unique source d'imprégnation des poules par les POPs, l'exposition via le sol apparaît comme la source principale expliquant le niveau de contamination des œufs.**

2.4. Etude de l'influence des sources fixes connues d'émission de PCDD/F sur les concentrations observées dans les œufs et les sols

Hypothèse étudiée

Les dioxines (PCDD) et les furanes (PCDF) sont des molécules principalement produites lors des processus de combustion de matière organique. En Ile-de-France, 33 sites d'activités humaines (principalement des incinérateurs de déchets) sont répertoriés par les services de la DRIEAT et soumises à une surveillance réglementée. Ces activités représentent les sources fixes actuelles d'émission des PCDD/F dans l'atmosphère.

L'étude de l'ARS Île-de-France a retenu 25 sites d'élevage domestique de poules, dont 14 situés dans un rayon de 3 km autour d'une source fixe d'émission (correspondant aux 3 incinérateurs d'Ivry-sur-Seine, d'Issy-les-Moulineaux et de Saint-Ouen), ce rayon correspondant à la zone dite d'influence de ces émetteurs en termes de retombées sur les sols. Ce rayon de 3 km reste évidemment hypothétique, la distance de retombée des POPs étant dépendante de différents paramètres propres à l'activité (débit et vitesse d'expulsion des gaz, hauteur des cheminées...) et météorologiques (vitesse et direction des vents, pression et température atmosphériques, précipitations...). Néanmoins, il repose sur deux éléments :

- De l'étude publiée par Airparif en août 2018 « *Etude des dioxines chlorées et bromées dans l'air ambiant* »³ : celle-ci indique que les zones de retombées maximales des incinérateurs, d'ordures ménagères de Ivry-sur-Seine et de Saint-Ouen se situent entre 600 et 1000 mètres de distance.
- Des résultats de la surveillance environnementale de l'incinérateur d'Ivry-sur-Seine⁴ : ceux-ci ne mettent pas en évidence de différence significative entre les retombées des points de surveillance sous influence des vents dominants situé à partir de 3km de distance de l'incinérateur et les points de surveillance « témoins » situés au-delà de 5km.

L'analyse statistique, réalisée à partir de plusieurs méthodes présentées ci-dessous, vise à vérifier si la contamination des sols est associée statistiquement à la distance des sites étudiés par rapport à l'implantation des sources fixes d'émission de PCDD/F connues. En d'autres termes, est-ce qu'en s'éloignant des sources fixes connues, la contamination des sols diminue ?

Méthode statistique 1 : Corrélation de Spearman

Le premier test utilisé pour étudier la corrélation entre les différentes concentrations des POPs et la distance (en m) est le **test de Spearman** non paramétrique, test adapté aux variables non-gaussiennes. Le **tableau 6** présente les différents coefficients de corrélation de Spearman.

Tableau 6 : Coefficients de corrélation entre les différentes mesures dans les sols et les œufs et la distance par rapport aux sources fixes connues d'émissions de PCDD et PCDF

Variable	Coefficients de corrélation
Somme PCDD (pg/g MG) (œufs)	0,26*
Somme PCDF (pg/g MG) (œufs)	0,07*
Somme PCDD sans hept et octa (pg/g MG) (œufs)	-0,01*
Somme PCDF sans hept et octa (pg/g MG) (œufs)	0,07*
PCB DL (pg/g MG) (œufs)	0,43*
PCB NDL (ng/g MG) (œufs)	0,12*
Somme PCB DL+NDL (pg/g MG) (œufs)	0,25*
PFHxS (µg/kg poids frais) (œufs)	0,25*
PFOS (µg/kg poids frais) (œufs)	0,22*
PFOA (µg/kg poids frais) (œufs)	0,24*
PFNA (µg/kg poids frais) (œufs)	0,29*
Somme PFAS (µg/kg poids frais) (œufs)	0,23*
Somme PCDD (ng/kg poids sec) (sols)	-0,23*
Somme PCDF (ng/kg poids sec) (sols)	-0,27*
Somme PCDD sans hept et octa (ng/kg poids sec) (sols)	-0,33*
Somme PCDF sans hept et octa (ng/kg poids sec) (sols)	-0,24*
PCB DL (ng/kg poids sec) (sols)	-0,09*
PCB NDL (µg/kg poids sec) (sols)	-0,10*
Somme PCB DL+NDL (ng/kg poids sec) (sols)	-0,08*
PFHxS (µg/kg poids sec) (sols)	0,06*
PFOS (µg/kg poids sec) (sols)	0,05*
PFOA (µg/kg poids sec) (sols)	0,05*
PFNA (µg/kg poids sec) (sols)	0,26*
Somme PFAS (µg/kg poids sec) (sols)	0,07*

R < 0.5 corrélation non significative

R ≥ 0.5 corrélation significative

R ≥ 0.7 corrélation très significative

> ³ <https://www.airparif.asso.fr/sites/default/files/pdf/rapport-dioxines-20180824.pdf>

> ⁴ <https://www.suez.fr/fr-fr/notre-offre/succes-commerciaux/nos-references/ivry-paris-xiii-centre-de-traitement-et-de-valorisation-des-dechets>

Interprétation des résultats

Sur l'ensemble des résultats, les coefficients de corrélations observés sont proches de zéro ou très faibles, indiquant une absence de corrélation significative ($p < 0.5$) entre la distance (proches ou éloignés des sources d'émission) et les concentrations des POPs dans les échantillons. Cette analyse montre que la distance géographique qui sépare les sites d'échantillonnage et les sources fixes connues d'émission de PCDD/F n'est pas le facteur principal influençant les concentrations de contaminants.

Méthode statistique 2 : Mann-Whitney

Ayant un échantillon de petite taille ($n=25$) avec une distribution des données qui ne suivent pas la loi Normale, le deuxième test utilisé pour déterminer les liens entre la distance et les POPs est le **test de Mann-Whitney**. Il s'agit d'un test non paramétrique utilisé pour comparer les distributions et les moyennes de deux groupes indépendants. Ainsi, la variable quantitative « distance » sera transformée en variable binaire qualitative (deux groupes : $<3\text{km}$ et $>3\text{km}$). Sachant que parmi les polluants recherchés dans l'étude, les PCDD et PCDF sont les deux familles de polluants généralement émises par les incinérateurs, ce test a été appliqué pour les mesures de ces polluants dans les sols, les émissions atmosphériques issues des incinérateurs se déposant sur les sols.

La valeur de p du Mann-Whitney est comparée au seuil de signification $\alpha = 0,05$ (correspond à un risque de 5% de conclure à tort qu'une différence existe) pour déterminer si une différence entre deux groupes est statistiquement significative, avec :

- Valeur de $p < \alpha$: la différence est statistiquement significative entre la mesure moyenne de POPs du groupe $<3\text{km}$ et la mesure moyenne du groupe $>3\text{km}$
- Valeur de $p > \alpha$: la différence n'est pas statistiquement significative entre la mesure moyenne de POPs du groupe $<3\text{km}$ et la mesure moyenne du groupe $>3\text{km}$

Interprétation des résultats

Les résultats de $p > 0.05$ montrent qu'il n'existe pas de différence significative entre les sites proches et éloignés des sources fixes connues d'émissions de PCDD et PCDF et les concentrations de ces contaminants dans les sols.

- Ces résultats suggèrent une absence de lien entre les contaminations des sols par les PCDD et PCDF et la distance des sites investigués avec les sources fixes d'émissions de ces POPs dans l'atmosphère.

2.5. Etude de l'impact des conditions d'élevage sur les concentrations des POPs dans les œufs

Hypothèse étudiée

Les poules s'imprègnent des POPs par leur contact avec le sol du parcours auquel elles ont accès. Cependant, le niveau de contamination des poules (et par extension de leurs œufs) s'il est

dépendant de la contamination des sols, est probablement accentué en fonction de divers facteurs de risque.

Dans le cadre de cette étude, une liste de neuf variables indépendantes sont considérées comme facteurs de risque potentiels de contamination des œufs de poules par des POPs et présentées dans le **tableau 7**. Ces variables sont liées aux conditions et aux modalités pratiques d'élevage et à l'environnement proche du poulailler.

L'étude vise à analyser chaque facteur de risque sur les différentes concentrations de POPs dans les œufs. Ces facteurs sont regroupés en qualitatifs binaires pour faciliter l'analyse.

Choix des facteurs de risque :

- Accès des poules au parcours extérieur de l'enclos :
 - L'accès des poules à un parcours extérieur peut présenter un risque d'exposition aux POPs. Elles seront exposées par ingestion de particules de sol contenant des POPs lors de leur activité de picorage ou par ingestion de vers et larves présents dans la terre et eux-mêmes contaminés. Une exposition par inhalation de particules de terres contaminées est également possible, mais représente à priori une source minoritaire de contamination.
- Durée journalière d'accès de la poule à l'extérieur de son enclos :
 - La durée journalière de la poule à l'extérieur de son enclos peut augmenter son risque d'exposition aux POPs.
- Temps de séjour des poules sur site :
 - Le temps de séjour constitue un facteur d'imprégnation supplémentaire en raison de la stabilité des POPs dans l'organisme et son accumulation au fil du temps, du fait d'une exposition répétée dans le temps avec un sol contaminé.
- Amendement de cendres sur le parcours des poules par les propriétaires de poulaillers :
 - L'apport volontaire de cendres répandues sur le sol a pour objectif d'apporter un complément de minéraux pour les poules, notamment pour la production de la coquille des œufs. Or, la cendre issue de la combustion de déchets verts et de bois, contient des sous-produits indésirables tels que des PCDD et PCDF.
- Type d'alimentation de la poule :
 - Le type d'alimentation, lorsqu'il n'est pas exclusivement constitué de graines et granulés issus du commerce faisant l'objet de valeurs limites réglementaires, peut être un facteur de contamination, notamment s'il comporte une part d'aliments d'origine animale et de végétaux non lavés (épluchures de légumes cultivés dans un sol contaminé). De plus, si l'alimentation n'est pas équilibrée, ce qui peut être le cas en absence d'alimentation commerciale, la poule aura tendance à chercher dans le sol d'autres sources alimentaires pour compenser les manques, notamment en consommant des vers et des larves.

- Mode de distribution de l'alimentation :
 - > La distribution des aliments à même le sol peut constituer une source de contamination supplémentaire, les poules en becquetant les aliments peuvent ingérer des particules de sol contaminé.
- Nature de l'eau donnée aux poules :
 - > L'eau de récupération, si elle a ruisselé sur des matériaux contaminés (notamment en PCB ou PFAS) et/ou est stockée dans des contenants inappropriés (bidons ayant eu d'autres usages précédents) peut se contaminer et participer à l'imprégnation des poules lors de leur usage pour nettoyer leurs plumes ou pour boire.
- Toiture de l'enclos du poulailler :
 - > L'absence d'une couverture imperméable sur le parcours quotidien des poules conduit à exposer le sol à la pluie et aux eaux de ruissellement, générant des sols boueux et la formation de flaques, facilitant le contact des poules avec les particules de sol contaminées, notamment si elles boivent directement dans les flaques et nids de poule qu'elles creusent.
- Présence d'un mur dégradé à proximité du poulailler :
 - > Les PCB et PFAS ont été largement utilisés dans la production de peintures et vernis utilisés pour les revêtements de matériaux de construction. Lorsque les revêtements des murs se dégradent, que ce soit en raison de l'usure, de l'exposition aux intempéries ou de la détérioration structurelle, les POPs peuvent être libérés dans l'environnement sous forme de poussière, de particules ou de résidus s'intégrant dans le sol.

Méthode statistique : Mann-Whitney (étude de l'influence des facteurs de risque)

Le test utilisé pour déterminer les différences de moyennes entre les groupes est le **test de Mann-Whitney**. Il s'agit d'un test non paramétrique utilisé pour comparer les distributions et les moyennes de deux groupes indépendants lorsque les données ne suivent pas une distribution selon la loi Normale ou lorsque l'égalité des variances n'est pas satisfaite.

La valeur de p du Mann-Whitney est comparée au seuil de signification $\alpha = 0,05, 0,01$ et $0,001$ (correspond à un risque de 5%, 1% et 0,1% de conclure à tort qu'une différence existe) pour déterminer si une différence entre deux groupes est statistiquement significative, avec :

- Valeur de $p < \alpha$: la différence est statistiquement significative entre les deux groupes
- Valeur de $p > \alpha$: la différence n'est pas statistiquement significative entre les deux groupes

Le test de Mann-Whitney a été appliqué pour évaluer si les différents potentiels facteurs de risque étudiés sont significativement associés aux différentes concentrations (PCDD, PCDF, PCB et PFAS), mesurés dans les œufs. Les médianes des différents groupes ont été présentées dans le **tableau 7** et les valeurs- p ont été répertoriées dans le **tableau 8**.

CHAPITRE 3 : ANALYSE STATISTIQUE DES RESULTATS

Tableau 7 : Les potentiels facteurs de risque de contamination des œufs et les médianes des groupes

Variables (conditions d'élevages, modalité pratiques et environnement du poulailler)	Groupes qualitatifs binaires	Médianes (somme des POPs dans les œufs)			
		Somme PCDD	Somme PCDF	Somme PCB	Somme PFAS
Parcours extérieur	Aucun accès au parcours extérieur (5)	19,60	9,42	13936	0,62
	Accès au parcours extérieur (20)	44,86	15,23	75578	2,00
Durée journalière d'accès à l'extérieur	Inférieure à 3h (14)	56,09	16,34	66636	1,20
	Supérieure à 8h (11)	40,12	13,71	75205	2,50
Temps de séjour des poules sur site ^a	Inférieur à 1 an (4)	30,29	12,64	103651	1,90
	Supérieur à 1 an (21)	46,38	15,44	75205	1,38
Cendre ^a	Aucun amendement (23)	43,35	13,71	73084	1,38
	Amendement (2)	78,45	17,82	99415	1,70
Type de l'alimentation	Exclusivement commerciale (6)	27,19	10,69	57006	0,81
	Autre alimentation (19)	68,83	15,44	75951	2,30
Mode de distribution de l'alimentation	Mangeoires (18)	38,66	15,23	74517	2,40
	Sur le sol (7)	86,21	13,71	75205	0,96
Nature de l'eau	Potable (20)	40,28	12,65	68436	1,54
	Récupération (5)	68,83	17,66	83873	0,95
Toiture de l'enclos ^a	Totale (4)	33,11	14,57	134565	1,63
	Partielle (21)	46,38	15,01	73084	1,38
Mur dégradé	Absence d'un mur dégradé (17)	40,12	13,71	70314	1,13
	Présence d'un mur dégradé (8)	89,07	18,83	95473	3,26

 Potentiels facteurs de risque de contamination des œufs

^aAu vu de la répartition non homogène pour les deux groupes des facteurs « amendement de cendre », « temps de séjour des poules sur site » et « toiture de l'enclos », les résultats des tests statistiques correspondants ne peuvent pas être interprétés dans le cadre de cette étude.

Les variables indépendantes marquées en rouge sont les variables indépendantes sélectionnées dans l'analyse statistique pour évaluer l'influence des facteurs de risque sur les différentes concentrations de POPs dans les œufs. L'objectif est de déterminer si ces facteurs de risque sont associés de manière significative aux concentrations de POPs dans les œufs de poules. L'influence de chaque facteur de risque est étudiée indépendamment.

Tableau 8 : Test de Mann-Whitney sur les potentiels facteurs de risque en relation avec les différentes concentrations étudiées dans les œufs

Variables	Somme PCDD	p bilatérale de Mann-Whitney		
		Somme PCDF	Somme PCB	Somme PFAS
Accès des poules au parcours extérieur de l'enclos	0.014*	0.000***	0.055	0.001***
Durée journalière d'accès de la poule à l'extérieur	0.014*	0.000***	0.055	0.000***
Temps de séjour des poules sur site ^a	0.014*	0.000***	0.055	0.002**
Amendement de cendre ^a	0.010*	0.000***	0.050*	0.000***
Type de l'alimentation	0.013*	0.000***	0.055	0.000***
Dépôt des aliments au sol	0.013*	0.000***	0.055	0.000***
Nature de l'eau	0.014*	0.000***	0.055	0.000***
Toiture de l'enclos ^a	0.011*	0.000***	0.055	0.002**
Présence d'un mur dégradé à proximité du poulailler	0.013*	0.000***	0.050*	0.000***

$p > 0.05$ différence non significative

* $p < 0.05$ différence significative avec niveau de confiance de 5%

** $p < 0.01$ différence significative avec niveau de confiance de 1%

*** $p < 0.001$ différence significative avec niveau de confiance de 0,1%

^aAu vu de la répartition non homogène pour les deux groupes des facteurs « amendement de cendre », « temps de séjour des poules sur site » et « toiture de l'enclos », les résultats des tests statistiques correspondants ne peuvent pas être interprétés dans le cadre de cette étude.

Interprétation des résultats

Les valeurs numériques dans le tableau représentent les valeurs- p bilatérales obtenues pour chaque combinaison de variable et de concentration de POPs. Cette valeur- p est une mesure de probabilité d'obtenir des résultats aussi extrêmes que ceux observés, sous l'hypothèse nulle que les groupes sont identiques. Une valeur- p plus faible indique une différence plus significative entre les groupes comparés.

Les astérisques (*) sont utilisés pour indiquer le niveau de signification statistique de résultats. Ils indiquent la différence significative entre les groupes comparés avec différents niveaux de confiance :

- **$p > 0.05$** : différence non significative au niveau de confiance de 5%, relation statistiquement non significative entre le facteur de risque et la concentration de la substance chimique étudiée.
- *** $p < 0.05$** : différence significative avec niveau de confiance de 5%, relation statistiquement significative entre le facteur de risque et la concentration de la substance chimique étudiée.
- **** $p < 0.01$** : différence significative avec niveau de confiance de 1%, relation statistiquement significative entre le facteur de risque et la concentration de la substance chimique étudiée.
- ***** $p < 0.001$** : différence significative avec niveau de confiance de 0,1%, relation statistiquement significative entre le facteur de risque et la concentration de la substance chimique étudiée.

Cette méthode analytique montre qu'il existe des différences significatives dans la présence de PCDD, PCDF et PFAS en fonction de certains potentiels facteurs de risque étudiés tels que l'accès des poules à l'extérieur, le type d'alimentation, le dépôt d'aliments sur les sols et la nature de l'eau.

L'analyse entre les concentrations en PCB et les différents facteurs de risque montre un lien tendanciellement significatif ($p=0,050$ et $p=0,055$). Cette différence de résultats statistiques entre PCB et les autres POPs trouve peut-être son explication dans une répartition différente de la contamination des sols par les PCB. Celle-ci est possiblement plus hétérogène, avec des « spots » liés notamment à la dégradation localisée d'un revêtement de mur par exemple, que la méthode d'échantillonnage utilisée ne permettrait pas de mettre en évidence (pour rappel, un échantillon de sol est constitué de 5 à 10 prélèvements unitaires répartis sur le parcours accessible aux poules).

A noter que pour les facteurs de risque « amendement de cendre », « temps de séjour des poules sur site » et « toiture de l'enclos », la répartition est non homogène pour les deux groupes constituant la population d'étude avec un effectif inférieur à 5 :

- 2 poulaillers sur 25 réalisent des amendements de cendres
- 4 poulaillers sur 25 ont des poules depuis moins d'un an
- 4 poulaillers sur 25 présentent une couverture imperméable sur le parcours quotidien des poules

Ainsi, les résultats des tests statistiques de ces trois facteurs de risque ne seront pas interprétés dans le cadre de cette étude.

- **Ces résultats sont en faveur d'un rôle de plusieurs variables étudiées dans le niveau de contamination des œufs montrant l'importance de la maîtrise des conditions d'élevage pour réduire les expositions humaines.**

2.6. Etude de l'influence de l'application des bonnes pratiques d'élevage recommandées par l'ANSES

Hypothèse étudiée

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) recommande aux particuliers souhaitant élever des volailles en plein air, à des fins notamment d'autoconsommation des œufs, l'application de plusieurs bonnes pratiques, permettant de contribuer à limiter la contamination des œufs :

- L'apport en aliments dans des mangeoires et non sur un parcours, ou à même le sol ;
- L'absence d'amendement du sol du poulailler par des cendres ;
- La fourniture d'un aliment adapté au stade physiologique des animaux et équilibré sur le plan nutritionnel (protéine et équilibre minéral).

Ces 3 recommandations correspondent à 3 variables documentées dans le cadre de notre étude :

- Mode de distribution de l'alimentation
- Amendement de cendres
- Type d'alimentation

L'influence de l'application conjointe de ces 3 bonnes pratiques dans le cadre de cette étude est évaluée afin de vérifier si elles contribuent à réduire le niveau de contamination des œufs.

Méthode statistique : Mann-Whitney

Le test de Mann-Whitney a été utilisé pour évaluer l'influence de l'application de ces 3 bonnes pratiques sur les contaminations des œufs par les POPs. Deux groupes ont été composés, le premier appliquant les 3 bonnes pratiques (5 poulaillers) et l'autre en appliquant deux ou moins (20 poulaillers). Les résultats du test pour les 4 types de POPs sont présentés dans le **tableau 9**.

Tableau 9 : Test de Mann-Whitney sur l'application des bonnes pratiques recommandées par l'ANSES en relation avec les différents POPs étudiés dans les œufs

Variables	P bilatérale de Mann-Whitney	Médiane 1	Médiane 2
	<i>Pratiques de l'ANSES</i>	<i>Poulaillers appliquant les 3 bonnes pratiques</i>	<i>Poulaillers appliquant deux ou moins bonnes pratiques</i>
Somme PCDD (pg/g MG)	0.013*	23.38	73.55
Somme PCDF (pg/g MG)	0.000***	10.27	16.55
Somme PCB DL+NDL (pg/g MG)	0.0490*	40929	79536
Somme PFAS (µg/kg poids frais)	0.000***	0.53	2.00

p > 0.05 différence non significative

** p < 0.05 différence significative avec niveau de confiance de 5%*

*** p < 0.01 différence significative avec niveau de confiance de 1%*

**** p < 0.001 différence significative avec niveau de confiance de 0,1%*

Interprétation des résultats

Pour la somme des PCDD et des PCB dans les œufs, la valeur-p est de 0,013 et 0,049 respectivement, ce qui signifie qu'il existe une différence significative dans les niveaux de PCDD et PCB entre les poulaillers qui respectent toutes les bonnes pratiques de l'ANSES et ceux qui ne les respectent pas toutes. Cette différence est significative à un niveau de confiance de 5%.

Pour la somme des PCDF et des PFAS dans les œufs, le valeur-p est de 0.000, ce qui montre qu'il existe une différence extrêmement significative dans les niveaux de ces contaminants entre les poulaillers qui appliquent les bonnes pratiques de l'ANSES et ceux qui ne les appliquent pas toutes avec un niveau de confiance de 0.1%

- Ces résultats suggèrent que l'application des bonnes pratiques recommandées par l'ANSES pour l'élevage des volailles en milieu urbain, en matière d'alimentation, d'amendement du sol du poulailler et d'alimentation équilibrée, peut contribuer à réduire la contamination des œufs aux POPs.

2.7. Etude de l'influence du mode de gestion des poulaillers sur les concentrations des POPs dans les œufs

Hypothèse étudiée

On considère que le mode de gestion des poulaillers, que cela soit géré par des amateurs (particuliers ou groupe de particuliers dans les jardins collectifs) ou par des professionnels, peut influencer significativement les concentrations des POPs dans les œufs. L'hypothèse étudiée est qu'une gestion par des professionnels devrait limiter le niveau de contamination des œufs du fait du respect des bonnes pratiques et des procédures mises en œuvre avec rigueur.

Méthode Statistique

Le test utilisé pour démontrer la validité de cette hypothèse statistique est le **test de Mann-Whitney**. Le **tableau 10** présente les résultats du test pour les 4 familles de POPs mesurées sur les échantillons des œufs. Pour rappel, il s'agit d'un test non paramétrique utilisé pour comparer les moyennes de deux groupes indépendants (18 poulaillers gérés par des amateurs et 7 gérés par des professionnels).

Tableau 10 : Test de Mann-Whitney sur le mode de gestion des poulaillers en relation avec les différents POPs étudiés dans les œufs

Variables	P bilatérale de Mann-Whitney Mode de gestion des poulaillers	Médiane 1 Gestion par des professionnels	Médiane 2 Gestion par des amateurs/particuliers
Somme PCDD (pg/g MG)	0,0100**	31,00	57,60
Somme PCDF (pg/g MG)	0,000***	11,10	15,23
Somme PCB DL+NDL (pg/g MG)	0,0500*	40929	79536
Somme PFAS (µg/kg poids frais)	0,001***	1,30	2,00

p > 0.05 différence non significative

** p < 0.05 différence significative avec niveau de confiance de 5%*

*** p < 0.01 différence significative avec niveau de confiance de 1%*

**** p < 0.001 différence significative avec niveau de confiance de 0,1%*

Interprétation des résultats

Les résultats indiquent qu'il existe des différences significatives entre les deux groupes (amateurs / professionnels) pour les concentrations des œufs en PCDD, PCDF, PCB et PFAS.

- **Dans le cadre de cette étude, lorsque ce sont des professionnels qui assurent la gestion des poulaillers, on constate une contamination moindre des œufs. Ces résultats sont donc en faveur d'une probable difficulté pour les particuliers d'appliquer strictement et dans la durée les bonnes pratiques d'élevage.**

3. Limites de l'étude

L'étude menée présente plusieurs limites qui nécessitent une considération attentive lors de l'interprétation de ses résultats.

Type de l'échantillon

L'échantillon analysé dans cette étude est de nature environnementale (analyses de sols et d'œufs). Les échantillons environnementaux sont intrinsèquement caractérisés par une grande variabilité, ce qui rend complexe la distinction entre les effets naturels et les effets initiés par l'activité humaine. La présence de plusieurs valeurs très élevées de contamination de sol ou d'œuf conduit à obtenir des valeurs de variances et d'écart-types élevés, pouvant affecter la précision des analyses statistiques.

Complexité et interaction des facteurs de risque

Les écosystèmes étudiés sont complexes, avec de multiples facteurs interagissant entre eux. Il s'avère ardu de contrôler ou de prendre en compte l'intégralité de ces facteurs dans une étude statistique. Cette complexité intrinsèque peut potentiellement introduire des biais dans les résultats de l'étude.

Les facteurs de risque étudiés dans le présent rapport sont issus de la littérature scientifique portant sur des études sanitaires et environnementales équivalentes.

Taille de l'échantillon

La taille de l'échantillon est limitée, avec 25 situations étudiées. Néanmoins, de nombreuses études scientifiques sur des facteurs environnementaux présentent cette difficulté. Pour pallier cette limitation, des tests non paramétriques sont donc habituellement employés, avec pour conséquence la réduction de la puissance statistique de l'étude.

C'est donc en considération de cette limite que les résultats des tests non paramétriques utilisés dans le cadre de cette étude sont exprimés comme permettant de conforter des hypothèses, souvent déjà investiguées dans d'autres études, mais sans permettre de conclure avec certitude de leur réalité.

Distribution des données

La taille limitée de l'échantillon conduit, lors de l'étude de certaines hypothèses, à la constitution de groupes hétérogènes et peut fausser l'interprétation des résultats des tests statistiques.

Les résultats des tests pour les hypothèses où un groupe était constitué de moins de 5 poulaillers ont été écartés.

Type des tests utilisés

Les tests non paramétriques ont été privilégiés en raison de leur bonne sensibilité aux faibles effectifs. En effet, leur interprétation est plus délicate que celle des tests paramétriques, car ils ne se fondent pas sur des hypothèses spécifiques sur la distribution des données. De plus, les tests non paramétriques sont généralement moins puissants que leurs équivalents paramétriques qui sont utilisés pour les données qui suivent une distribution normale.

En raison de valeurs extrêmes pour les analyses des PCB, les résultats concernant ces tests ont été écartés.



CONCLUSION GÉNÉRALE



Des sols urbains globalement pollués par les POPs

D'une manière globale, les résultats de la campagne d'analyse réalisée en février 2023 (et poursuivie en avril 2023 pour la famille des PFAS) mettent en évidence une pollution systématique et ubiquitaire des 4 familles de POPs recherchés dans les échantillons de sols des poulaillers.

Dans le cadre de cette étude, les analyses statistiques démontrent qu'il n'existe pas de différence significative entre les concentrations des POPs dans les sols des sites situés à proximité des sources fixes de PCDD et PCDF (dont les incinérateurs de déchets) et les sites les plus éloignés de toute source fixe connue. Des concentrations basses en POPs sont retrouvées à proximité des incinérateurs, et inversement, des taux très élevés sont observés au niveau de quelques points éloignés de toute source fixe connue d'émission de PCDD/F.

Néanmoins, on peut supposer que les sources fixes d'émission dans l'atmosphère de PCDD et PCDF participent à la contamination des sols, au même titre que d'autres sources plus diffuses (transport, secteur résidentiel...) sans qu'il ne soit possible au travers de cette étude de définir la part de chacune dans les niveaux de contamination des sols observés. Les caractéristiques de persistance de ces polluants dans l'environnement rendent cet exercice d'autant plus difficile que les contributions des différentes sources ont probablement varié au cours du temps.

Si les PCDD et PCDF sont essentiellement produits lors des phénomènes de combustion de divers déchets, l'origine des PCB et PFAS est beaucoup plus diverse et est associée à l'utilisation des matériaux de construction et produits manufacturés qui les contiennent.

Le niveau de contamination des sols en PCB semble difficilement prévisible en milieu urbain où les sols ont été régulièrement remaniés, avec des apports de remblais de qualité très variable, pouvant comporter notamment des matériaux de construction concassés, possiblement contaminés par des PCB (verniss, huiles et peintures notamment présents sur ces matériaux).

Les sources de PFAS sont également diffuses et liées aux multiples usages qui ont été faits de ces produits en raison de leurs propriétés antiadhésives, imperméabilisantes, résistantes aux fortes chaleurs.

Une contamination des œufs associée significativement à celle des sols

Le niveau de contamination des œufs est clairement associé au niveau de contamination des sols. Plus le sol du parcours accessible aux poules est contaminé, plus les œufs le sont aussi pour toutes les familles de POP.

Le sol est donc une source d'exposition prépondérante des poules :

- Exposition directe par l'ingestion de particules de sol contaminées lors de leur activité de picorage ou par inhalation, cette dernière voie d'exposition étant probablement plus limitée,
- Exposition indirecte en ingérant des vers et larves présents dans le sol, en s'abreuvant dans des flaques et nids de poule avec l'ingestion d'eau mélangée à des particules de terre.

Une contamination des œufs accentuée par le cumul de facteurs de risque

La durée quotidienne d'accès au parcours, l'âge des poules (ou plus exactement le nombre d'années de présence dans le poulailler) sont des facteurs de risque évidents, du fait de la stabilité des POPs dans l'organisme vivant. Plus les poules sont exposées au sol, plus elles vont accumuler de contamination au cours de leur vie.

D'autres facteurs étudiés dans le cadre de cette étude favorisent l'exposition des poules :

- Une alimentation non équilibrée conduisant les poules à aller chercher des compléments dans le sol (notamment en consommant les vers et larves),
- Une alimentation déposée directement sur le sol, facilitant le contact avec les particules contaminées lors des repas,
- Des amendements de cendres sur le parcours des poules, les cendres étant souvent elles-mêmes chargées en PCDD/F,
- Une absence de couverture imperméable du parcours accessible aux poules : le ruissellement de l'eau sur le sol transporte les polluants et favorise l'absorption de particules de terre dans les flaques d'eau où les poules vont s'abreuver.

La maîtrise des facteurs de risque peut aider à réduire le niveau de contamination

Dans le groupe des propriétaires qui appliquent les trois bonnes pratiques recommandées (alimentation équilibrée, dans des mangeoires, sans amendement de cendre sur les sols) par l'ANSES, les concentrations en POPs des œufs sont significativement moins élevées.

Néanmoins, ces bonnes pratiques s'avèrent insuffisantes pour éviter une contamination des œufs supérieure aux seuils réglementaires européens, lorsque la contamination des sols est importante.

Dans le cas où la gestion du poulailler est assurée par des professionnels, on constate également une tendance à une contamination moindre des œufs que chez les particuliers. Cela peut s'expliquer par une probable difficulté pour les particuliers à appliquer strictement et dans la durée les bonnes pratiques d'élevage.

L'étude menée par l'ARS ne permet pas d'identifier de facteurs protecteurs permettant de se prémunir d'une contamination des œufs de poule par les POPs, la présence étant systématique des quatre familles de POPs (PCDD, PCDF, PCB et PFAS) dans tous les sols analysés.

En milieu urbain, la consommation régulière (plusieurs fois par semaine, pendant plusieurs années) des œufs issus de poulaillers domestiques conduira à une surexposition des auto-consommateurs en comparaison avec une population qui consomme des œufs du commerce (*Imprégnation de la population française par les composés perfluorés, 2019* et *Imprégnation de la population française par les polychlorobiphényles (PCB), les dioxines et les furanes, 2021*).

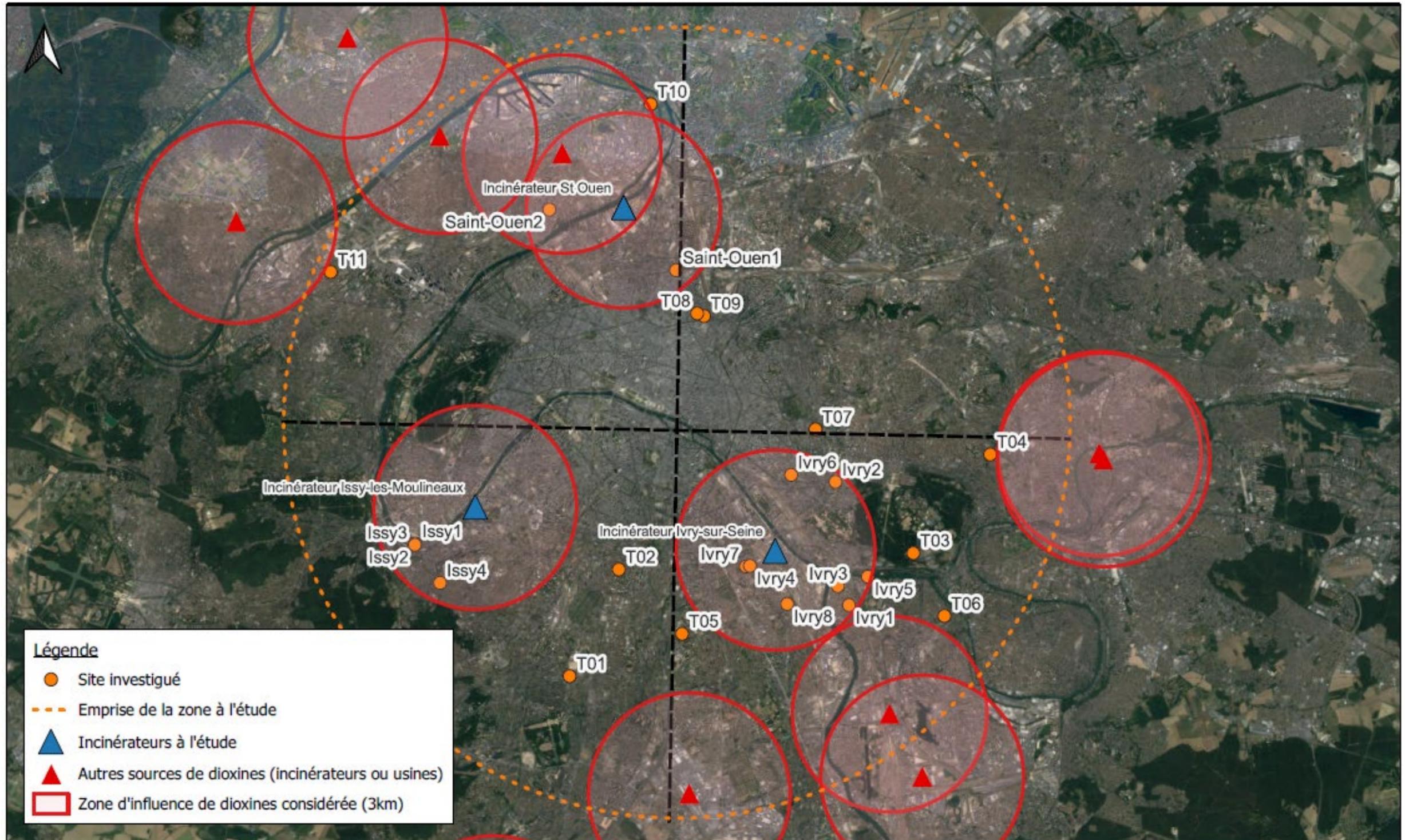
ACRONYMES

ANSES	Agence N ationale de S écurité S anitaire A limentaire N ationale
ARS	Agence R égionale de S anté
CV	C oefficient de V ariation
DHT	D ose H ebdomadaire T olérable
EFSA	E uropean F ood S afety A uthority - Autorité Européenne de Sécurité des Aliments
IDF	Ile- d e- F rance
LNR	Laboratoire N ational de R éférence
MG	M atières G rasses
ONG	O rganisation N on G ouvernementale
PCB	P olychlorobiphényles
PCB-DL	P olychlorobiphényles « D ioxin- L ike »
PCB-NDL	P olychlorobiphényles « N on D ioxin- L ike »
PCDD	P olychloro- d ibenzodioxine
PCDF	P olychloro- d ibenzofuranes
PFAS	P er/ P olyfluoroalkylées
PFHxS	A cide P erfluoro h exanesulphonique
PFOA	A cide P erfluoro o ctanoïque
PFOS	A cide P erfluoro o ctanesulfonique
PFNA	A cide P erfluoro n onanoïque
POP	P olluants O rganiques P ersistants
TEF	T oxic E quivalent F actor - Facteurs d'équivalence toxique
UE	U nion E uropéenne

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Concentrations des PFAS dans les œufs et les sols.....	42
Tableau 2 : Synthèse des concentrations des POPs dans les œufs comparées aux valeurs réglementaires européennes applicables aux denrées alimentaires (œufs commercialisés).....	46
Tableau 3 : Inventaire des données.....	49
Tableau 4 : Analyse descriptive.....	50
Tableau 5 : Matrice de corrélation de Spearman – Etude de la relation entre les concentrations POP dans les œufs et les sols.....	52
Tableau 6 : Coefficients de corrélation entre les différentes mesures dans les sols et les œufs et la distance par rapport aux sources fixes connues d'émissions de PCDD et PCDF.....	54
Tableau 7 : Les potentiels facteurs de risque de contamination des œufs et les médianes des groupes.....	58
Tableau 8 : Test de Mann-Whitney sur les potentiels facteurs de risque en relation avec les différentes concentrations étudiées dans les œufs.....	58
Tableau 9 : Test de Mann-Whitney sur l'application des bonnes pratiques recommandées par l'ANSES en relation avec les différents POPs étudiés dans les œufs.....	60
Tableau 10 : Test de Mann-Whitney sur le mode de gestion des poulaillers en relation avec les différents POPs étudiés dans les œufs.....	61

CARTOGRAPHIE DES SITES



Légende

- Site investigué
- - - Emprise de la zone à l'étude
- ▲ Incinérateurs à l'étude
- ▲ Autres sources de dioxines (incinérateurs ou usines)
- Zone d'influence de dioxines considérée (3km)

	Evaluation de la contamination en dioxines/furanes et PCB des oeufs issus de poulaillers domestiques localisés en zones urbaines de la région parisienne				
	Cartographie relative à la localisation des poulaillers investigués	Echelle N° projet Date	0 2.5 5 7.5 km 2.22.5670 05/04/2023	Dessinateur Vérificateur	



En savoir plus : iledefrance.ars.sante.fr

