



ANCIENNE USINE D'INCINERATION DE LA FAYE

Campagne d'analyse des dioxines et furanes dans les sols



29 juillet 2022

Sur mandat du

*Service de l'environnement du canton de Fribourg
Impasse de la colline 4
1762 Givisiez*

Table des matières

1. Introduction	1
2. Contexte	1
2.1. Mécanismes généraux de dissémination des dioxines et furanes par des incinérateurs.....	1
2.2. Caractéristiques de l'incinérateur de Lully et de son environnement	1
2.3. Historique de remaniement du secteur	3
3. Plan d'échantillonnage	4
4. Investigations réalisées	6
4.1. Prélèvements	6
4.2. Analyses.....	7
4.3. Récapitulatif	7
5. Résultats	8
5.1. PCDD/F	8
5.2. PCB dioxines-like	11
5.3. PCDD/F et PCB dioxines-like	12
5.4. PCB.....	12
6. Conclusions.....	12

Liste des figures

Figure 1 : Extrait de carte nationale du géoportail de Fribourg de 2004.	2
Figure 2 : Extrait de carte nationale du géoportail de Fribourg de 1974-1976.	2
Figure 3 : Extrait de la photo aérienne 1968 (admin.ch).....	3
Figure 4 : Extrait de la photo aérienne 1981 (admin.ch).....	3
Figure 5 : Extrait de la photo aérienne 1995 (geoportail Fr).....	4
Figure 6 : Extrait de la photo aérienne 2000 (admin.ch).....	4
Figure 7 : Echantillonnage réalisé en mai 2022 (photographie aérienne 1995, source geoportail Fr).....	5
Figure 8 : Disposition des repères pour échantillonner une placette.....	6
Figure 9 : Précautions de prélèvement.	6
Figure 10 : Types de dioxines analysés (photographie aérienne 2020, source geoportail Fr).....	8
Figure 11 : Résultats d'analyse en PCDD/F exprimées en I-TEQ OTAN 1988 dans les échantillons. ...	10

Liste des tableaux

Tableau 1 : Résumé des points d'échantillonnage et contrôles analytiques effectués.	7
Tableau 2 : Résultats d'analyse en concentrations mesurées de chaque congénère dans les échantillons.	9
Tableau 3 : Valeurs I-TEF OTAN, extrait du rapport HEPIA du 3 février 2022 (Matter A. et Boivin P.)... ..	9
Tableau 4 : Résultats d'analyses en PCDD/F exprimés en I-TEQ OTAN 1988 dans les échantillons. ..	10
Tableau 5 : Valeurs I-TEF OMS 2005, extrait du rapport HEPIA du 3 février 2022 (Matter A. et Boivin P.).....	11
Tableau 6 : Résultats d'analyse en dl-PCB exprimés en WHO ₀₅ -TEQ dans les échantillons.....	11
Tableau 7 : (dl-PCB + PCDD/F) exprimés en WHO ₀₅ -TEQ.....	12

1. Introduction

Le service de l'environnement (SEn) du canton de Fribourg a mandaté le bureau pEaudSol pour effectuer un contrôle des sols situés aux alentours de l'ancienne usine d'incinération de la Faye à Lully. Une campagne d'échantillonnage a été réalisée dans l'objectif d'apprécier si cette ancienne usine d'incinération d'ordures ménagères a contaminé les sols du secteur en dioxines et furanes (dibenzodioxines et dibenzofuranes polychlorés, PCDD/F) par dissémination aérienne de poussières ou de gaz.

Le bureau pEaudSol s'est associé au bureau eOde pour fournir un plan d'échantillonnage pertinent.

2. Contexte

2.1. Mécanismes généraux de dissémination des dioxines et furanes par des incinérateurs

Les incinérateurs de déchets sont susceptibles de disséminer des dioxines et furanes par voie aérienne à partir de leur point d'émission – en général la cheminée de rejet des gaz et des fumées. L'étendue de la zone de dépôt des PCDD/F dans les sols est déterminée par un ensemble complexe de mécanismes et de facteurs, tenant à la fois à l'activité de l'incinérateur et à l'intensité de ses émissions, aux conditions météorologiques locales et à la géographie environnante (Caserini et al., 2004; Floret et al., 2006; Goovaerts et al., 2008; Goovaerts et al., 2008; Lin et al., 2020; Lohman and Seigneur, 2001; Lorber et al., 1998; Meneses et al., 2004; Oh et al., 2006; Pirard et al., 2005).

Les incinérateurs peuvent émettre des PCDD/F sous forme de gaz et de particules solides de taille variable. Les congénères les plus légers sont davantage présents dans la phase gazeuse, tandis que les plus lourds se retrouvent préférentiellement sous forme particulaire. Les PCDD/F sont transportés puis déposés par voie sèche sous l'effet des vents, par voie humide sous l'effet des précipitations. Les distances parcourues sous l'effet des vents sont généralement plus grandes que celles observées sous l'effet des précipitations, bien que de nombreux facteurs peuvent moduler cette observation (p.ex. hauteur de cheminée, diamètre de cheminée, direction, vitesse et fréquence des vents, taille des particules, température ambiante).

Les débits et les concentrations en PCDD/F aux points d'émission dépendent de l'intensité de l'activité de l'incinérateur, de sa durée d'activité et des dispositifs de traitement des émissions. Par le passé, les dispositifs de traitement des rejets étaient inexistantes ou défectueux. L'équipement des anciens incinérateurs de systèmes de traitement des gaz et fumées a généralement conduit à des diminutions drastiques des émissions. Les incinérateurs actuels sont le plus souvent équipés de dispositifs performants.

Les PCDD/F sont globalement transportés sur de plus grandes distances dans la direction des vents dominants, avec une modulation suscitée par la topographie et l'occupation du sol. En fonction de la hauteur de cheminée, les zones de plus haute altitude (collines) peuvent par exemple constituer des barrières à la dissémination de la pollution. La végétation peut également influencer la répartition spatiale de la pollution déposée dans les sols, avec une interception des émissions aériennes par les arbres, et des concentrations plus grandes parfois observées à la lisière des forêts. La dispersion aérienne des PCDD/F peut être accentuée en milieu urbain par des phénomènes accrus de turbulence en présence de bâtiments et de sources de chaleur.

2.2. Caractéristiques de l'incinérateur de Lully et de son environnement

L'ancien site de l'incinérateur est actuellement occupé par une aire d'autoroute, avec pour environnement immédiat, de la forêt et un carrefour routier et autoroutier de grande taille (figure 1). A plus grande distance, se trouvent des cultures, des zones d'habitat et des axes routiers et autoroutiers. Une zone d'activité est présente à 800 m au Nord-Est (centre de distribution, bowling de Sévaz).

Les informations sur l'activité de l'incinérateur de Lully sont très lacunaires. De 1973 à 1979, l'usine aurait brûlé entre 12'000 et 15'000 tonnes de déchets. Sur la base des plans historiques de la station d'incinération fournis par la commune d'Estavayer-le-lac, on estime la hauteur de la cheminée à 19-22 m. L'altitude maximale de la cheminée est estimée à 514 m – 517 m en supposant que l'altitude au sol est de 495 m selon la carte nationale du géoportail de Fribourg de 1974-1976 (figure 2).

Le terrain environnant l'ancien incinérateur – situé à 490 m d'altitude - est assez plat, notamment au Nord et au Sud-Est, avec des altitudes qui varient entre 460 m et 500 m jusqu'à 2000 m de distance. Le terrain est un peu plus accidenté au Sud-Ouest et à l'Ouest du site, avec notamment la colline du Grand Bois qui culmine à 622 m et la petite colline de la Faye de Font à 543 m. Ces collines sont recouvertes de forêt.

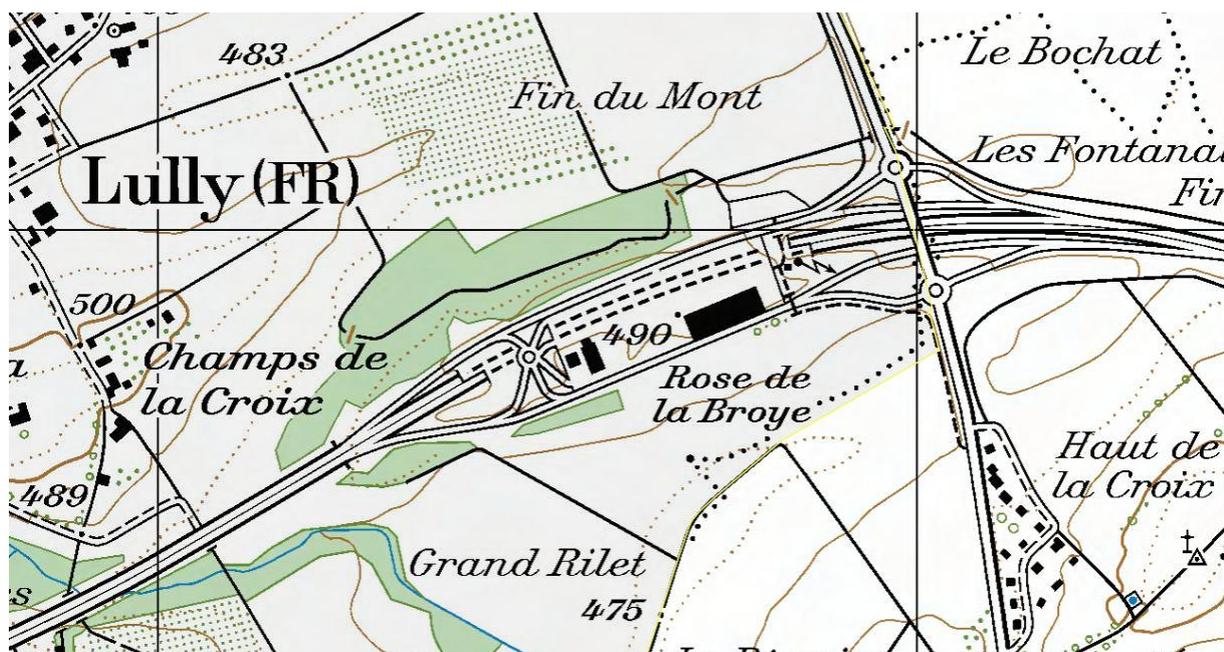


Figure 1 : Extrait de carte nationale du géoportail de Fribourg de 2004.

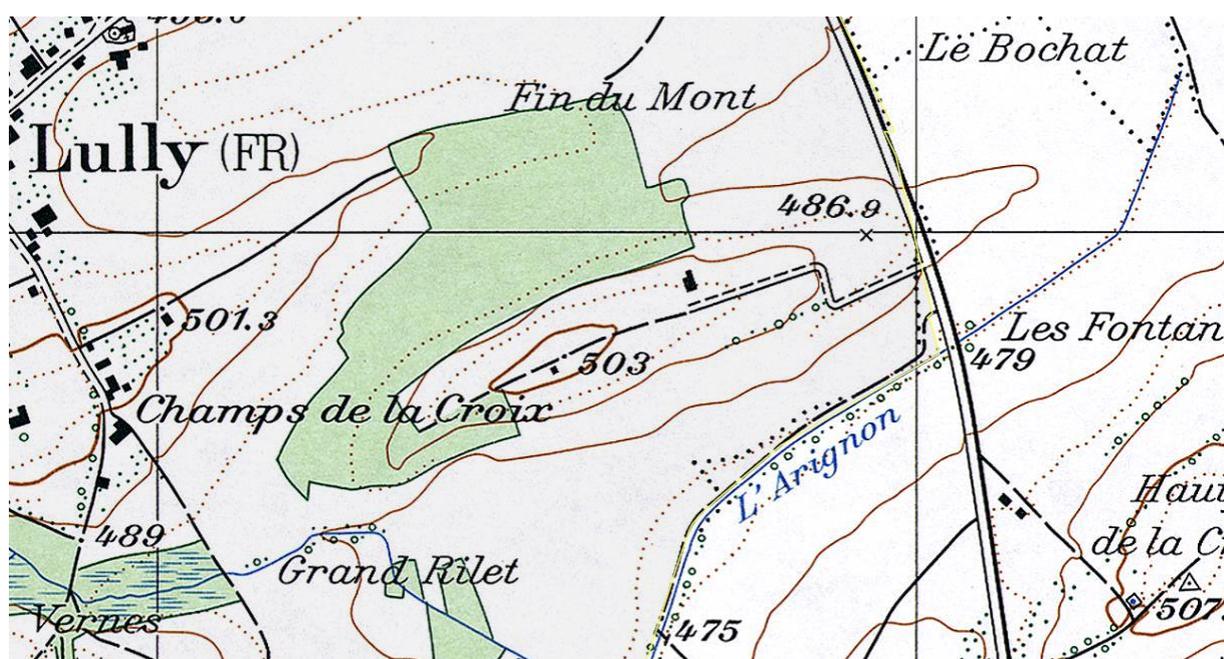


Figure 2 : Extrait de carte nationale du géoportail de Fribourg de 1974-1976.

Selon l'Atlas des vents de la Suisse (annexe 1), la vitesse moyenne annuelle du vent est estimée à 4.4 m/s à 50 m au-dessus du niveau du sol, au point de localisation de l'ancien incinérateur. Les vents dominants sont d'orientation Nord-Est / Sud-Ouest. Les vents les plus fréquents (14.10%) sont modélisés dans le secteur 225° - 255°, avec une vitesse moyenne annuelle de 4.43 m/s, puis dans une moindre mesure dans le secteur 255° - 285° (fréquence : 10.30%, vitesse moyenne annuelle : 4.29 m/s) et dans le secteur 195° - 225° (fréquence : 10.20%, vitesse moyenne annuelle : 4.32 m/s). Dans le secteur 45° - 75°, la fréquence du vent est estimée à 9%, avec une vitesse moyenne annuelle de 4.72 m/s ; dans le secteur 285° - 315°, la fréquence du vent est estimée à 7%, avec une vitesse moyenne annuelle de 4.71 m/s.

Selon les statistiques 1961-1990 de MétéoSuisse, les précipitations moyennes annuelles sont estimées à 900 - 1100 mm/an.

2.3. Historique de remaniement du secteur

Les photos aériennes disponibles sur le site de la Confédération (admin.ch) permettent de repérer les secteurs dans lesquels il y a eu des mouvements de terre importants, en particulier lors de travaux. Les anciens chemins remis en état et les anciens ruisseaux mis sous tuyaux sont également pris en compte.

En 1968, avant la construction de l'usine, on ne repère pas d'activité. Le secteur est agricole et la colline est encadrée au Nord et à l'Ouest par la forêt (figure 3).

En 1981, on distingue bien l'usine, et une petite partie de la forêt a été défrichée au Nord du bâtiment (figure 4).

En 1995 et 2000, on distingue nettement toutes les surfaces qui ont été décapées pour la construction de l'autoroute et de l'aire de repos de la Rose de la Broye (figures 5 et 6). La parcelle qui avait été défrichée en bordure de l'usine est replantée. Dans sa partie Ouest, le secteur de la fin du Mont est utilisé comme « pépinière ». On distingue une petite zone « quadrillée » directement au Nord de la forêt, qui correspond probablement à des travaux de pose de drainage.



Figure 3 : Extrait de la photo aérienne 1968 (admin.ch).



Figure 4 : Extrait de la photo aérienne 1981 (admin.ch).



Figure 5 : Extrait de la photo aérienne 1995 (geoportail Fr).



Figure 6 : Extrait de la photo aérienne 2000 (admin.ch).

3. Plan d'échantillonnage

Les points d'échantillonnage ont été positionnés en tenant compte de la zone d'influence probable de l'ancien incinérateur, des conditions météorologiques locales et de l'occupation ancienne et actuelle du territoire :

- leur position tient compte de l'anisotropie pouvant être créée dans le dépôt des dioxines et furanes par la direction des vents dominants ;
- les distances des points par rapport à l'incinérateur tiennent compte de l'intensité supposée de l'ancien incinérateur, par comparaison à d'autres incinérateurs dont l'activité et l'influence sont documentées dans la littérature. La zone d'influence de l'incinérateur de Lully est probablement limitée en raison de la faible hauteur de la cheminée et de la faible quantité de déchets incinérés ;
- les zones de forêts sont supposées avoir fait écran à la pollution ;
- les points hauts (collines) sont supposés avoir fait barrage à la pollution ;
- sur la base des photos aériennes (§ 2.3), les zones dans lesquelles des mouvements de terre sont visibles ou probables ont été exclues du plan d'échantillonnage :
 - o les emprises provisoires liées à la construction de l'aire d'autoroute de la Rose de la Broye ;
 - o les anciens chemins et anciens ruisseaux ;

- les secteurs où des travaux de drainage sont visibles.

Les secteurs sous influence possible d'autres sources de pollution ont été évités (par exemple proximité immédiate de route).

Dans un premier temps, un plan d'échantillonnage a été proposé et validé par le SEn avant de réaliser la campagne de terrain (voir en annexe 2 – plan d'échantillonnage du 26 avril 2022). Sur le terrain, quelques points ont dû être légèrement déplacés pour des raisons pratiques :

- le point 7 car la parcelle initiale était plantée en pommes de terre (terrain butté) ;
- le point 1 car la parcelle initiale était en cours de labour, en évitant le secteur remanié au sud ;
- le point 2 car la parcelle était en train d'être semée ;
- le point 9 car le colza était déjà infranchissable et il était impossible de s'y enfoncer plus.

Finalement, la campagne d'échantillonnage réalisée comprend 13 points de prélèvements (figure 7) :

- les points 1 à 12 sont situés dans des parcelles cultivées :
 - les points 1 à 7 sont localisés à une distance inférieure ou égale à 500 m de la position de l'ancien incinérateur, dans toutes les directions. Les points 2, 4 et 5 sont dans la direction des vents dominants au Nord-Est et au Sud-Ouest. Les points 1 et 3 sont les plus proches de la cheminée. Les points 6 et 7 sont dans la direction orthogonale ;
 - les points 8 à 12 sont situés à une distance d'environ 500 à 600 m du site, dans la direction des vents dominants au Nord-Est et au Sud-Ouest.
- le point 13 est situé en forêt à une distance inférieure à 500 m de l'incinérateur, dans la direction des vents dominants et en dehors du secteur qui a été défriché et replanté (voir § 2.3).

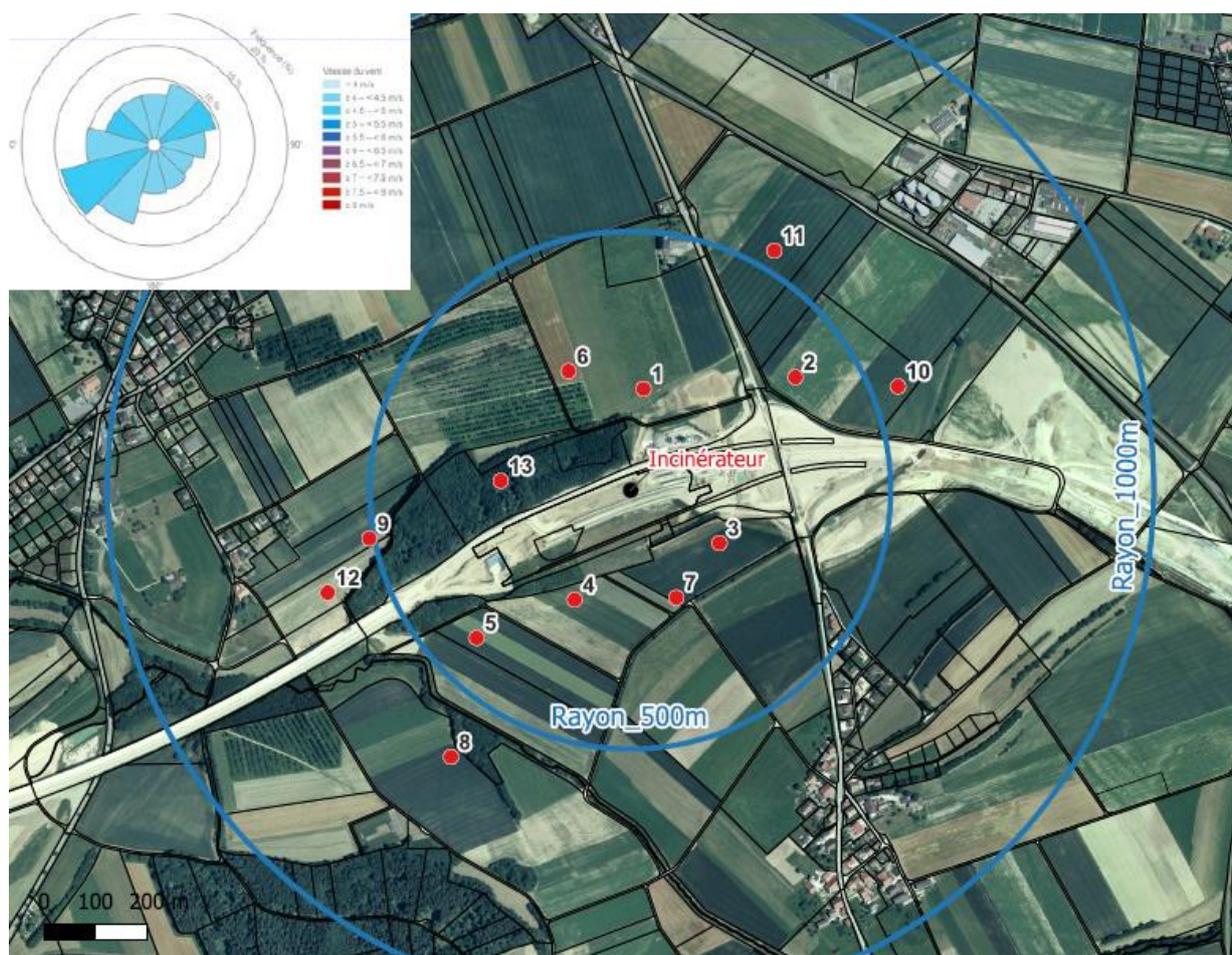


Figure 7 : Echantillonnage réalisé en mai 2022 (photographie aérienne 1995, source geoportail Fr).

4. Investigations réalisées

4.1. Prélèvements

Chaque point correspond à une placette de 10 m x 10 m orientée dans le sens des lignes de culture ou parallèle aux limites de la parcelle. Pour chaque placette, l'échantillon correspond au mélange de 16 prélèvements 0-20 cm à la tarière Edelmann selon le principe schématisé en annexe 3. En raison de l'accès plus difficile, les points 9 (colza) et 13 (forêt) sont échantillonnés de manière plus aléatoire. Toutefois, le principe des 16 prélèvements dans la placette de 100 m² est maintenu.



Figure 8 : Disposition des repères pour échantillonner une placette.

L'échantillon composite est prélevé dans un seau, puis émietté à la main et mélangé par transvasements successifs dans un sac poubelle. L'échantillon mélangé est vidé sur un sac poubelle et scindé en deux volumes. Un volume est envoyé au laboratoire pour analyse des polluants ; un volume est gardé pour analyses complémentaires si nécessaire. Pour les échantillons 2 et 4, un troisième volume est envoyé au laboratoire pour contrôle des dioxines-like (voir § 4.2).

Pour éviter toute contamination, on utilise des gants à usage unique, ainsi qu'un seau propre (brossé à l'eau claire et séché) et des sacs poubelles neufs pour chaque point de prélèvement. La tarière est nettoyée entre chaque point en réalisant 3 prélèvements en dehors de la placette, non gardés, avant de commencer.



Figure 9 : Précautions de prélèvement.

Les coordonnées XY de chaque point d'échantillonnage correspondent au centre de la placette et sont relevées au GPS de poche (précision ± 3 m).

4.2. Analyses

Le contrôle des PCDD/F a été réalisé sur les 13 points d'échantillonnage.

Sur la demande du SEn, le contrôle des PCB (polychlorobiphényle) coplanaires ou PCB-dioxines like ou dl-PCB a été réalisé sur deux points jugés les plus fortement exposés à la contamination par l'usine (points 2 et 4). L'échantillon a été doublé au moment du prélèvement et de la mise en bidon pour le laboratoire.

De nombreux contacts ont été pris avec le laboratoire Wessling AG avant d'envoyer les échantillons pour s'assurer que les analyses sont bien réalisées selon les recommandations de l'OFEV du 14 janvier 2022, à savoir :

- Pour les analyses de PCDD/F
 - o Préparation de l'échantillon selon OSol, c'est-à-dire séchage et tamisage à 2 mm
 - o Mesure du taux d'humidité
 - o Mesure de la charge en éléments grossiers ($\varnothing > 2$ mm) par pesée
 - o Extraction Soxhlet
 - o Méthode d'analyse selon norme DIN38414 S24
- Pour les analyses de dioxine-like PCB
 - o Préparation de l'échantillon selon OLED
 - o Extraction Soxhlet
 - o Méthode d'analyse selon norme EPA 1613 mod. (1994-10)A

Les principaux échanges sont donnés en annexe 4.

Sur la base des résultats obtenus (voir chapitre 5), le Sen a demandé un contrôle des PCB selon OSol (congénères n° 28, 52, 101, 118, 138, 153 et 180) de tous les points. Ces contrôles ont été réalisés sur les échantillons séchés et tamisés gardés par le laboratoire.

4.3. Récapitulatif

Les points d'échantillonnage et les contrôles analytiques effectués sont représentés en figure 10 et résumés en tableau 1.

Tableau 1 : Résumé des points d'échantillonnage et contrôles analytiques effectués.

no	X/Y	précision	Utilisation du sol	Culture 2022	Analyses
1	555730/187134	± 3 m	grandes cultures	prairie	PCDD/PCDF + PCB
2	556026/187157	± 3 m	grandes cultures	betteraves	PCDD/PCDF + dl-PCB + PCB
3	555878/186832	± 3 m	grandes cultures	céréales	PCDD/PCDF + PCB
4	555596/186721	± 3 m	grandes cultures	betteraves	PCDD/PCDF + dl-PCB + PCB
5	555405/186646	± 3 m	grandes cultures	céréales	PCDD/PCDF + PCB
6	555584/187169	± 3 m	grandes cultures	prairie	PCDD/PCDF + PCB
7	555794/186725	± 3 m	grandes cultures	céréales	PCDD/PCDF + PCB
8	555355/186413	± 3 m	grandes cultures	céréales	PCDD/PCDF + PCB
9	555196/186841	± 3 m	grandes cultures	colza	PCDD/PCDF + PCB
10	556226/187139	± 3 m	grandes cultures	pas encore semée	PCDD/PCDF + PCB
11	555985/187405	± 3 m	grandes cultures	betteraves	PCDD/PCDF + PCB
12	555115/186735	± 3 m	grandes cultures	céréales	PCDD/PCDF + PCB
13	555452/186954	± 3 m	forêt		PCDD/PCDF + PCB

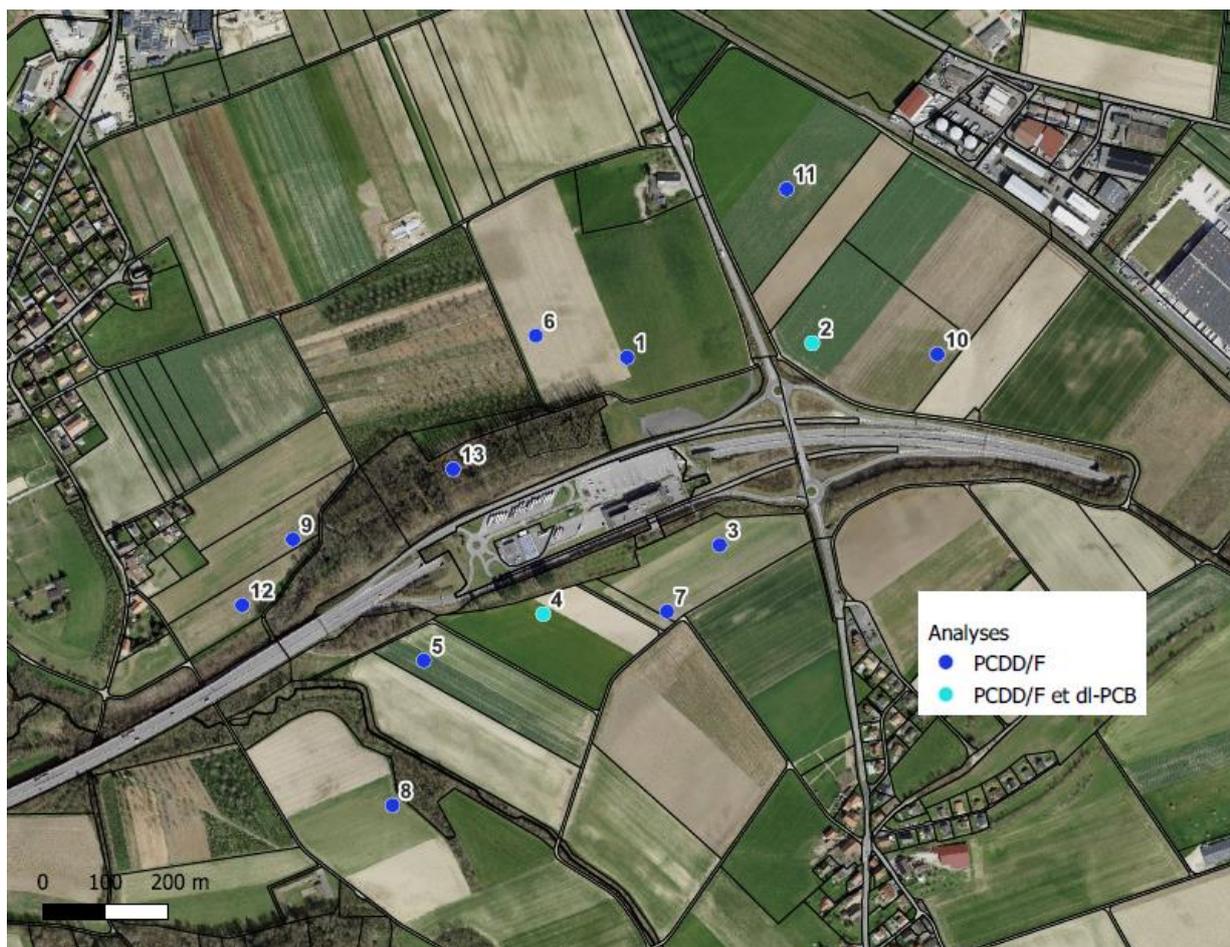


Figure 10 : Types de dioxines analysés (photographie aérienne 2020, source geoportail Fr).

5. Résultats

La campagne d'échantillonnage a été réalisée par Véronique Maître les 2, 3 et 4 mai 2022. Chaque point est photographié en annexe 5.

Les bordereaux d'analyse du laboratoire Wessling AG sont donnés en annexe 6.

5.1. PCDD/F

Les résultats des concentrations mesurées de chaque congénère analysé sont donnés en tableau 2.

Les congénères 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD et OCDD des dioxines sont présents dans tous les échantillons (à l'exception du point 4 pour 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD, dont la limite de quantification est plus haute). Dans tous les échantillons, aucun autre congénère de dioxines n'a été détecté.

Les congénères des furanes 1,2,3,7,8-PeCDF et 2,3,4,7,8- PeCDF sont présents dans les échantillons 1 et 2. Le congénère 2,3,7,8-TeCDF a été détecté dans les échantillons 1, 2 et 4. Le congénère 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF a été détecté dans l'échantillon 2. Dans tous les échantillons, aucun autre congénère des furanes n'a été détecté.

Tableau 2 : Résultats d'analyse en concentrations mesurées de chaque congénère dans les échantillons.

congénères (ng/kg MS)	No 1	No 2	No 3	No 4*	No 5	No 6	No 7	No 8	No 9	No 10	No 11	No 12	No 13
2,3,7,8-TCDD	<0,4	<0,4	<0,4	<0,8	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4
1,2,3,7,8-PeCDD	<0,4	<0,4	<0,4	<0,8	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4
1,2,3,4,7,8-HxCDD	<0,8	<0,8	<0,8	<1,6	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8
1,2,3,6,7,8-HxCDD	<0,8	<0,8	<0,8	<1,6	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8
1,2,3,7,8,9-HxCDD	<0,8	<0,8	<0,8	<1,6	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	3	4,8	2,7	<3,2	2,9	2,6	2,7	2,8	3,1	3,6	3,5	2,7	2,3
OCDD	15	18	13	11	14	13	12	14	17	22	17	14	11
2,3,7,8-TCDF	1,1	0,78	<0,4	0,94	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4
1,2,3,7,8-PeCDF	0,78	0,89	<0,4	<0,8	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4
2,3,4,7,8-PeCDF	0,92	0,75	<0,4	<0,8	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4
1,2,3,4,7,8-HxCDF	<0,8	<0,8	<0,8	<1,6	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8
1,2,3,6,7,8-HxCDF	<0,8	<0,8	<0,8	<1,6	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8
1,2,3,7,8,9-HxCDF	<0,8	<0,8	<0,8	<1,6	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8
2,3,4,6,7,8-HxCDF	<0,8	<0,8	<0,8	<1,6	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	<1,6	2	<1,6	<3,2	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	<1,6	<1,6	<1,6	<3,2	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6
OCDF	<1,6	<1,6	<1,6	<3,2	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6	<1,6

Les résultats sont calculés en quantités équivalentes toxiques TEQ (abréviation I- TEQ OTAN dans la suite du texte) dans le tableau 4, selon les recommandations de l'OFEV du 14 janvier 2022 :

- en utilisant les facteurs de correction I-TEF OTAN 1988 (tableau 3) puisqu'il s'agit de sols en place ;
- en considérant les concentrations des congénères inférieures à la limite de quantification du laboratoire comme nulles.

Tableau 3 : Valeurs I-TEF OTAN, extrait du rapport HEPIA du 3 février 2022 (Matter A. et Boivin P.).

Valeurs de I-TEF édictées par l'OTAN en 1989 pour les dioxines et furanes (Leray, 2017).

Congénères		I-TEF OTAN
DIOXINES	2,3,7,8 Tétrachlorodibenzodioxine (TCDD)	1
	1,2,3,7,8 Pentachlorodibenzodioxine (PeCDD)	0,5
	1,2,3,4,7,8 Hexachlorodibenzodioxine (HxCDD)	0,1
	1,2,3,6,7,8 Hexachlorodibenzodioxine (HxCDD)	0,1
	1,2,3,7,8,9 Hexachlorodibenzodioxine (HxCDD)	0,1
	1,2,3,4,6,7,8 Heptachlorodibenzodioxine (HpCDD)	0,01
	Octachlorodibenzodioxine (OCDD)	0,001
FURANNES	2,3,7,8 Tétrachlorodibenzofuranne (TCDF)	0,1
	1,2,3,7,8 Pentachlorodibenzofuranne (PeCDF)	0,05
	2,3,4,7,8 Pentachlorodibenzofuranne (PeCDF)	0,5
	1,2,3,4,7,8 Hexachlorodibenzofuranne (HxCDF)	0,1
	1,2,3,6,7,8 Hexachlorodibenzofuranne (HxCDF)	0,1
	2,3,4,6,7,8 Hexachlorodibenzofuranne (HxCDF)	0,1
	1,2,3,7,8,9 Hexachlorodibenzofuranne (HxCDF)	0,1
	1,2,3,4,6,7,8 Heptachlorodibenzofuranne (HpCDF)	0,01
	1,2,3,4,7,8,9 Heptachlorodibenzofuranne (HpCDF)	0,01
Octachlorodibenzofuranne (OCDF)	0,001	

Pour chaque congénère, la concentration exprimée en ng/kg de matière sèche est multipliée par le facteur de correction listé dans le tableau 3. La somme des valeurs obtenues pour chaque congénère détecté correspond à la quantité équivalente toxique des PCDD/F de l'échantillon.

Tableau 4 : Résultats d'analyses en PCDD/F exprimés en I-TEQ OTAN 1988 dans les échantillons.

	No1	No2	No3	No4*	No5	No6	No7	No8	No9	No10	No11	No12	No13
PCDD/F I-TEQ excl.LQ (ng/kg MS)	0.654	0.584	0.040	0.105	0.043	0.039	0.039	0.042	0.048	0.058	0.052	0.041	0.034

* limites de quantification des congénères augmentée en raison d'interférences

Quelle que soit la situation du point échantillonné, les valeurs PCDD/F calculées en utilisant les coefficients de toxicité de l'OTAN sont nettement inférieures à la valeur indicative fixée à 5 I-TEQ ng/kg MS dans l'annexe 2 de l'OSol (figure 11).

Les valeurs les plus fortes sont mesurées dans les points les plus proches de la position de l'ancien incinérateur (équivalent toxicité supérieur à 0.1 I-TEQ ng/kg MS), dans la direction des vents dominants (points 2 et 4) mais également dans la direction orthogonale au Nord (point 1).

On peut également signaler que tous les points présentent une valeur d'équivalent toxicité nettement inférieure à la valeur médiane des sites du réseau NABO représentative des sols suisses, qui est de 4 I-TEQ ng/kg MS (Rapport explicatif concernant la modification de l'ordonnance sur l'assainissement des sites pollués (ordonnance sur les sites contaminés, OSites. Paquet d'ordonnances environnementales du printemps 2020).

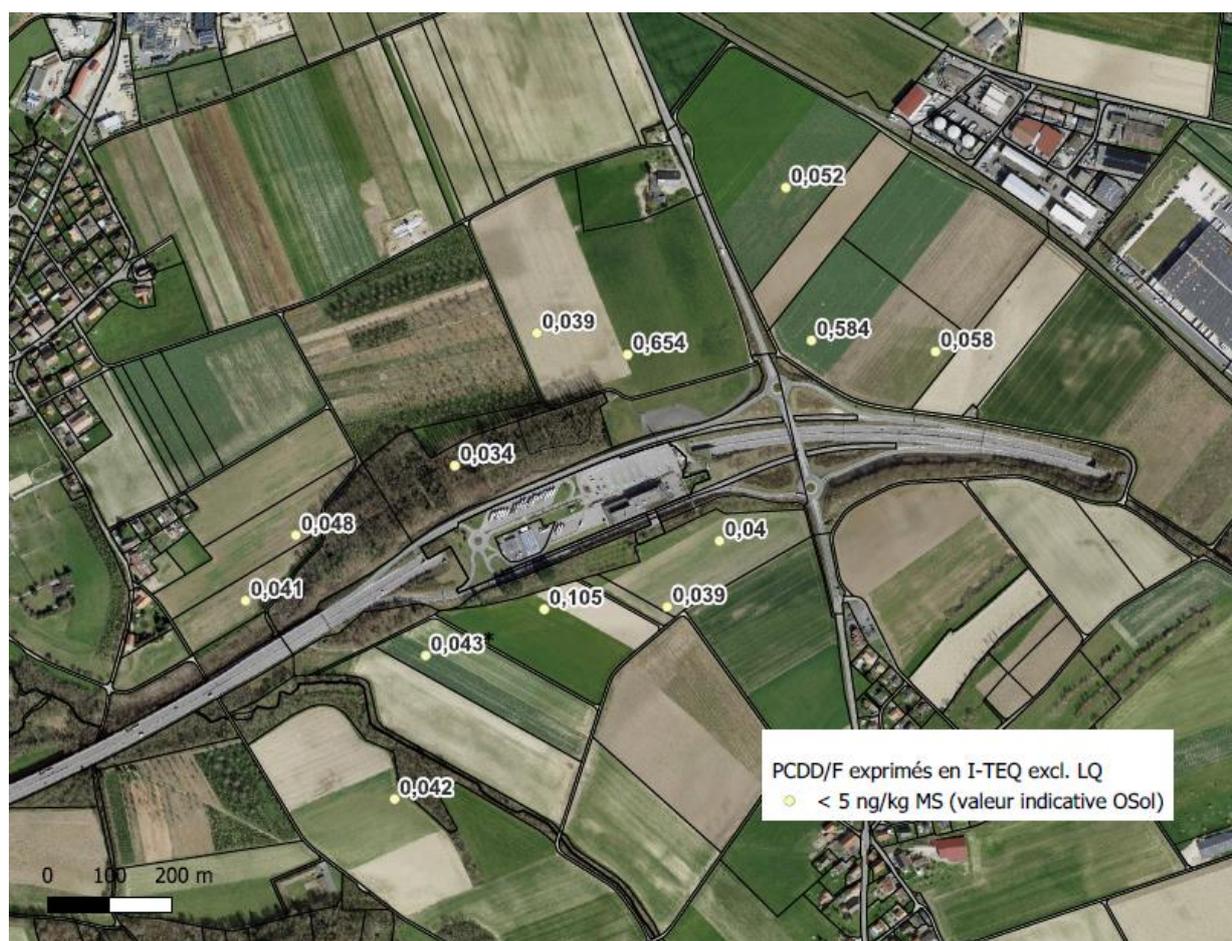


Figure 11 : Résultats d'analyse en PCDD/F exprimées en I-TEQ OTAN 1988 dans les échantillons.

Il faut signaler que la valeur calculée pour l'échantillon 4 est probablement sous-estimée car les limites de quantification de chaque congénère sont plus élevées que celles des autres échantillons en raison de problème d'interférence rencontrés par le laboratoire. Le calcul effectué en affectant la valeur de la limite de quantification de chaque congénère à tous les cas où la teneur mesurée est inférieure à cette limite de quantification, correspond à 2.96 I-TEQ incl. LQ ng/kg MS pour cet échantillon. Cette valeur, qui correspond au mode de calcul le plus sévère, reste inférieure à la valeur indicative fixée dans l'OSol.

5.2. PCB dioxines-like

Les PCB-dioxine like correspondent aux congénères PCB no 77, 81, 126, 169, 105, 114, 118, 123, 156, 157, 167 et 189. Les coefficients de toxicité de l'OMS 2005 ont été utilisés pour calculer les résultats obtenus en équivalents toxicité WHO₀₅-TEQ (tableau 5).

Tableau 5 : Valeurs I-TEF OMS 2005, extrait du rapport HEPIA du 3 février 2022 (Matter A. et Boivin P.)

Valeurs de TEF édictées par l'OMS en 2005 pour les composés assimilés aux dioxines (Jansson, 2008, basées sur les valeurs de Van den Berg et al., 2006).

Compound		TEF	Compound		TEF
PCDD	2,3,7,8-TeCDD	1	Non-ortho PCB	3,3',4,4'-TeCB (#77 ^b)	0.0001
	1,2,3,7,8-PeCDD	1		3,4,4',5'-TeCB (#81)	0.0003 ^a
	1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.1		3,3',4,4',5'-PeCB (#126)	0.1
	1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.1		3,3',4,4',5,5'-HxCB (#169)	0.03 ^a
	1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.1			
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.01			
	OCDD	0.0003 ^a			
PCDF	2,3,7,8-TeCDF	0.1	Mono-ortho PCB	2,3,3',4,4'-PeCB (#105)	0.00003 ^a
	1,2,3,7,8-PeCDF	0.03 ^a		2,3,4,4',5'-PeCB (#114)	0.00003 ^a
	2,3,4,7,8-PeCDF	0.3 ^a		2,3',4,4',5'-PeCB (#118)	0.00003 ^a
	1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.1		2',3,4,4',5'-PeCB (#123)	0.00003 ^a
	1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.1		2,3,3',4,4',5'-HxCB (#156)	0.00003 ^a
	1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.1		2,3,3',4,4',5'-HxCB (#157)	0.00003 ^a
	2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.1		2,3',4,4',5,5'-HxCB (#167)	0.00003 ^a
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.01		2,3,3',4,4',5,5'-HpCB (#189)	0.00003 ^a
	1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.01			
	OCDF	0.0003 ^a			

^a Revised in the 2005 TEF re-evaluation.

^b #-numbers represent the IUPAC numbering of the 209 PCB congeners.

Les résultats sont donnés dans le tableau 6.

Tableau 6 : Résultats d'analyse en dl-PCB exprimés en WHO₀₅-TEQ dans les échantillons.

	WHO ₀₅ TEF	No 2	No 4	No 2	No 4
		concentration ng/kg MS		WHO ₀₅ -teq ng/kg MS	
dl-PCB 77	0,0001	<50	61	0	0,0061
dl-PCB 81	0,0003	<25	68	0	0,0204
dl-PCB 126	0,1	<13	70	0	7
dl-PCB 169	0,03	<25	71	0	2,13
dl-PCB 105	0,00003	<250	<250	0	0
dl-PCB 114	0,00003	<200	<200	0	0
dl-PCB 118	0,00003	<1000	<1000	0	0
dl-PCB 123	0,00003	<50	<50	0	0
dl-PCB 156	0,00003	<250	<250	0	0
dl-PCB 157	0,00003	<50	<50	0	0
dl-PCB 167	0,00003	<100	<100	0	0
dl-PCB 189	0,00003	<100	<100	0	0
dl-PCB (WHO₀₅-TEQ) excl LQ (ng/kg MS)				0	9,1565

Aucun congénère n'a été détecté dans l'échantillon 2. En revanche, les congénères PCB 77, 81, 126 et 169 ont été détectés dans l'échantillon 4 : la quantité équivalente toxique des dioxines-like PCB correspond à environ 9 WHO₀₅-TEQ exc. LQ ng/kg MS.

5.3. PCDD/F et PCB dioxines-like

Les PCB-dioxines like ne figurent pas dans l'OSol. Toutefois, comme ces substances ont été détectées et ne peuvent donc pas être considérées comme négligeables, nous avons calculé, à titre indicatif, ce que représente la somme de toutes les dioxines en quantité équivalent toxique.

Ne disposant pas des facteurs d'équivalent toxique pour les PCB-dioxines like, les résultats sont exprimés en WHO₀₅-TEQ en considérant tous les types de dioxine analysés (PCDD/F et dl-dioxines) dans le tableau 7.

Les limites de quantification LQ étant plus élevées pour l'échantillon 4, le calcul a été fait de deux manières différentes (voir détail en annexe 7) :

- tableau 7a : valeurs < LQ des autres échantillons à zéro : résultats sous-estimés par rapport aux autres échantillons
- tableau 7b : valeurs < LQ des autres échantillons à valeur LQ échantillon 4 : résultats sur-estimés par rapport aux autres échantillons

Tableau 7 : (dl-PCB + PCDD/F) exprimés en WHO₀₅-TEQ.

WHO ₀₅ -TEQ	No 2	No 4
a- PCDD/F + dl-PCB avec valeurs LQ à zéro	0.40	9.29
b - PCDD/F + dl-PCB avec valeurs LQ à valeur LQ échantillon 4	0.40	12.33

Avec les deux types de calculs, les résultats sont de l'ordre d'une dizaine de nanogrammes WHO₀₅-TEQ/kg MS pour l'échantillon 4.

Pour rappel, ce ne sont pas ces facteurs de toxicité qu'il faut utiliser pour comparer les résultats aux limites fixées dans l'OSol. Si on s'autorisait à utiliser ces valeurs à titre indicatif, il faudrait considérer que l'échantillon 4 présente des teneurs en (PCDD/F + dl-PCB) comprises entre la valeur indicative et le seuil d'investigation de l'OSol.

5.4. PCB

Les bordereaux d'analyse du laboratoire Wessling AG sont donnés en annexe 6.

Dans tous les échantillons et pour tous les congénères analysés (PCB n° 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180), les valeurs mesurées sont inférieures à la limite de quantification fixée à 0.002 mg/kgMS pour chaque congénère.

6. Conclusions

Nous estimons que le plan d'échantillonnage appliqué aux alentours de l'ancien incinérateur permet, avec un bon niveau de confiance, d'apprécier l'état de pollution des sols agricoles qui auraient été sous son influence durant sa période d'activité. Les points d'échantillonnage ont en effet été répartis en tenant compte de l'intensité de son activité et des phénomènes qui ont pu conduire à la dissémination de la pollution (direction des vents dominants), ou à sa dilution (points en dehors des zones de remaniement des sols). Pour tous les points échantillonnés, les dioxines « dibenzodioxines et dibenzofuranes polychlorés » (PCDD/F) présentent des valeurs d'équivalents toxicité I-TEQ OTAN 1988 nettement inférieures à la valeur indicative fixée dans l'OSol. On peut donc considérer que les sols agricoles aux alentours de l'incinérateur sont non pollués en dioxines « PCDD/F ».

Les PCB coplanaires ou dioxine-like PCB ayant une toxicité comparable aux PCDD et PCDF, un contrôle des dioxine-like PCB a été réalisé dans deux échantillons. Aucun congénère n'a été détecté au point 2. En revanche, le point 4 présente une valeur de quantité équivalents toxique de 9 WHO₀₅-TEQ exc. LQ ng/kg MS. Si on s'autorisait à utiliser les résultats calculés avec cette unité, il faudrait considérer que le

point 4 présente une valeur d'équivalents toxicité (PCDD/F + dl-PCB) comprise entre la valeur indicative et le seuil d'investigation de l'OSol. Cette valeur ne représente néanmoins pas de menace concrète pour l'homme, les animaux et les plantes.

Compte-tenu de la présence de dioxine-like PCB au point 4, le Sen a demandé un contrôle des PCB selon OSol dans tous les points du plan d'échantillonnage. Aucun congénère n'a été décelé (dans la limite de quantification LQ du laboratoire).

Le 29 juillet 2022

bureau pEaudSol

eOde Sàrl

Véronique Maître

Hélène Demougeot-Renard

Liste des annexes

Annexe 1 : rose des vents (moyenne annuelle de la vitesse et de la direction du vent à 50 m du sol) et maille considérée pour la modélisation à partir de stations existantes, Office fédéral de l'énergie

Annexe 2 : plan d'échantillonnage du 26 avril 2022

Annexe 3 : principe de l'échantillonnage de chaque placette

Annexe 4 : photographies des placettes de prélèvement

Annexe 5 : bordereaux d'analyse du laboratoire Wessling AG

Annexe 6 : détail des calculs des teneurs en (PCDD/F + dl-PCB) dans les échantillons 2 et 4

Sources documentaires

- **Bases légales, principales directives et sources**

Ordonnance sur les atteintes portées au sol (OSol) du 1er juillet 1998

Ordonnance sur la limitation et l'élimination des déchets (OLED) du 4 décembre 2015

L'environnement pratique. Prélèvement et préparation d'échantillons de sols pour l'analyse de substances polluantes, OFEV, 2003

L'environnement pratique. Méthodes d'analyse dans le domaine des déchets et des sites pollués, OFEV, 2017

Rapport explicatif concernant la modification de l'ordonnance sur l'assainissement des sites pollués (ordonnance sur les sites contaminés, OSites. Paquet d'ordonnances environnementales du printemps 2020), OFEV, 2019.

Recommandations concernant les analyses de dibenzodioxines et dibenzofuranes polychlorés PCDD/F dans les sols, OFEV, 14 janvier 2022

Assainissement des sols pollués aux dioxines, étude bibliographique, HEPIA, rapport du 3 février 2022

Plans et coupes historiques de la station d'incinération fournis par la commune d'Estavayer-le-lac

Article du 9 février 2022 <https://frapp.ch/fr/articles/stories/les-sols-fribourgeois-sont-ils-pollues-par-des-dioxines>

Atlas des vents de la Suisse, Office fédéral de l'énergie, <https://opendata.swiss/fr> : moyenne annuelle modélisée de la vitesse et de la direction du vent à 50 m du sol

Précipitations, MétéoSuisse, <https://test.map.geo.admin.ch>, Analyses spatiales des précipitations mensuelles et annuelles moyennes pour la période standard 1961-1990

Géodonnées, Géoportail de l'Etat de Fribourg, <https://geo.fr.ch/>

- Publications

Caserini, S., Cernuschi, S., Giugliano, M., Grosso, M., Lonati, G., Mattaini, P., 2004. Air and soil dioxin levels at three sites in Italy in proximity to MSW incineration plants. *Chemosphere* 54, 1279–1287. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(03\)00250-9](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(03)00250-9)

Floret, N., Viel, J.-F., Lucot, E., Dudermel, P.-M., Cahn, J.-Y., Badot, P.-M., Mauny, F., 2006. Dispersion Modeling as a Dioxin Exposure Indicator in the Vicinity of a Municipal Solid Waste Incinerator: A Validation Study. *Environ. Sci. Technol.* 40, 2149–2155. <https://doi.org/10.1021/es052309u>

Goovaerts, P., Trinh, H.T., Demond, A., Franzblau, A., Garabrant, D., Gillespie, B., Lepkowski, J., Adriaens, P., 2008. Geostatistical modeling of the spatial distribution of soil dioxins in the vicinity of an incinerator. 1. Theory and application to Midland, Michigan. *Environ. Sci. Technol.* 42, 3648–3654. <https://doi.org/10.1021/es702494z>

Goovaerts, Pierre, Trinh, H.T., Demond, A.H., Towey, T., Chang, S.-C., Gwinn, D., Hong, B., Franzblau, A., Garabrant, D., Gillespie, B.W., Lepkowski, J., Adriaens, P., 2008. Geostatistical Modeling of the Spatial Distribution of Soil Dioxin in the Vicinity of an Incinerator. 2. Verification and Calibration Study. *Environ. Sci. Technol.* 42, 3655–3661. <https://doi.org/10.1021/es7024966>

Lin, X., Li, M., Chen, Z., Chen, T., Li, X., Wang, C., Lu, S., Yan, J., 2020. Long-term monitoring of PCDD/Fs in soils in the vicinity of a hazardous waste incinerator in China: Temporal variations and environmental impacts. *Sci. Total Environ.* 713, 136717. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136717>

Lohman, K., Seigneur, C., 2001. Atmospheric fate and transport of dioxins: local impacts. *Chemosphere* 45, 161–171. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(00\)00559-2](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(00)00559-2)

Lorber, M., Pinsky, P., Gehring, P., Braverman, C., Winters, D., Sovocool, W., 1998. Relationships between dioxins in soil, air, ash, and emissions from a municipal solid waste incinerator emitting large amounts of dioxins. *Chemosphere* 37, 2173–2197. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(98\)00279-3](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(98)00279-3)

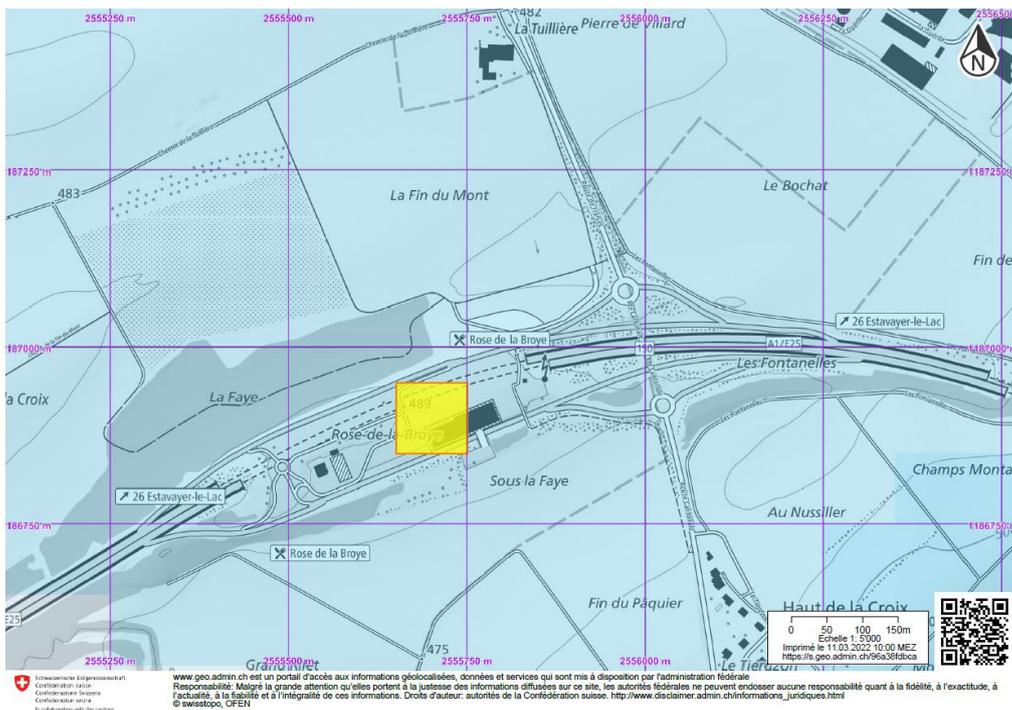
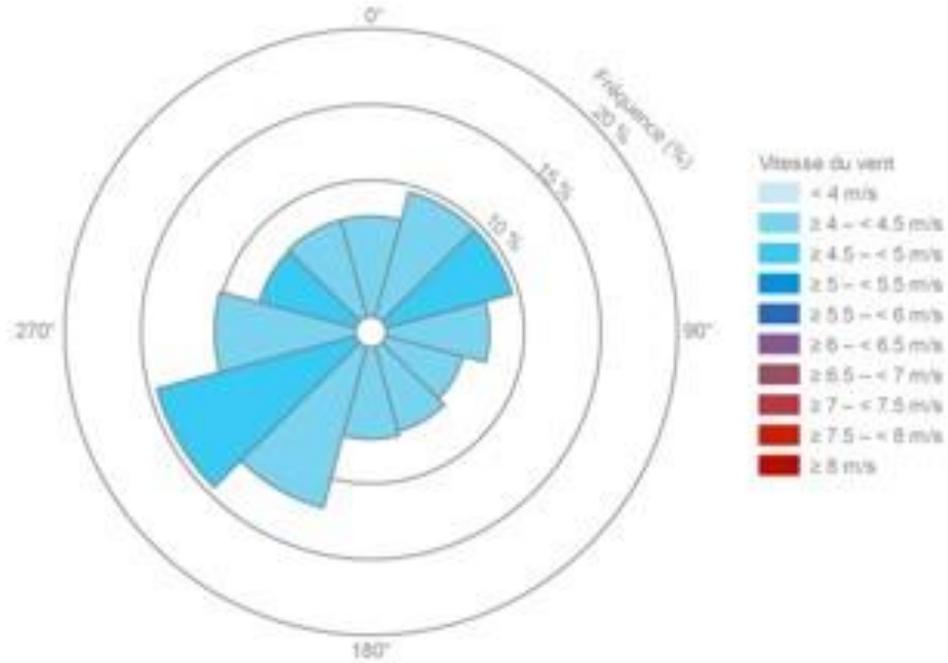
Meneses, M., Schuhmacher, M., Domingo, J.L., 2004. Health risk assessment of emissions of dioxins and furans from a municipal waste incinerator: comparison with other emission sources. *Environ. Int.* 30, 481–489. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2003.10.001>

Oh, J.-E., Choi, S.-D., Lee, S.-J., Chang, Y.-S., 2006. Influence of a municipal solid waste incinerator on ambient air and soil PCDD/Fs levels. *Chemosphere* 64, 579–587. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.11.012>

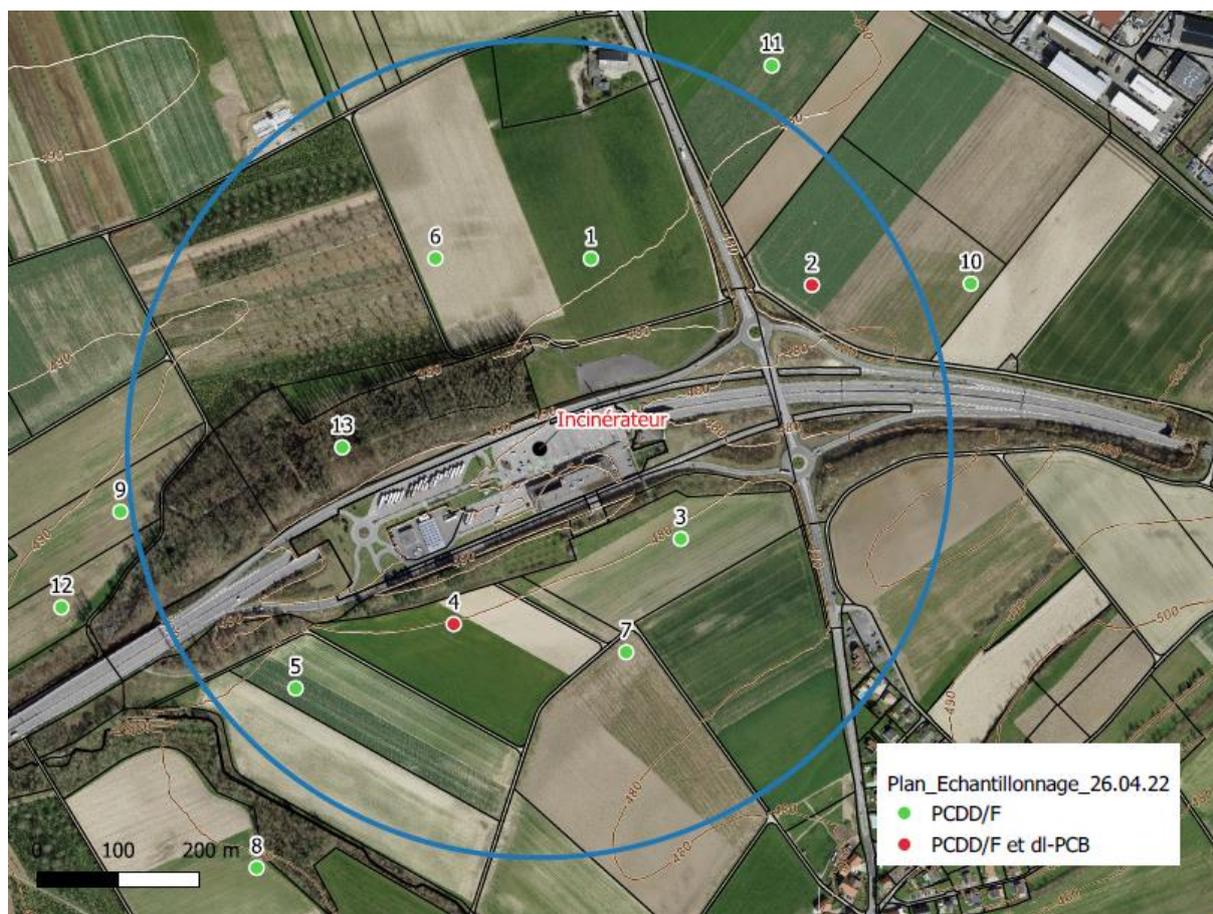
Pirard, C., Eppe, G., Massart, A.-C., Fierens, S., De Pauw, E., Focant, J.-F., 2005. Environmental and Human Impact of an Old-Timer Incinerator in Terms of Dioxin and PCB Level: A Case Study. *Environ. Sci. Technol.* 39, 4721–4728. <https://doi.org/10.1021/es0481981>

Annexe 1

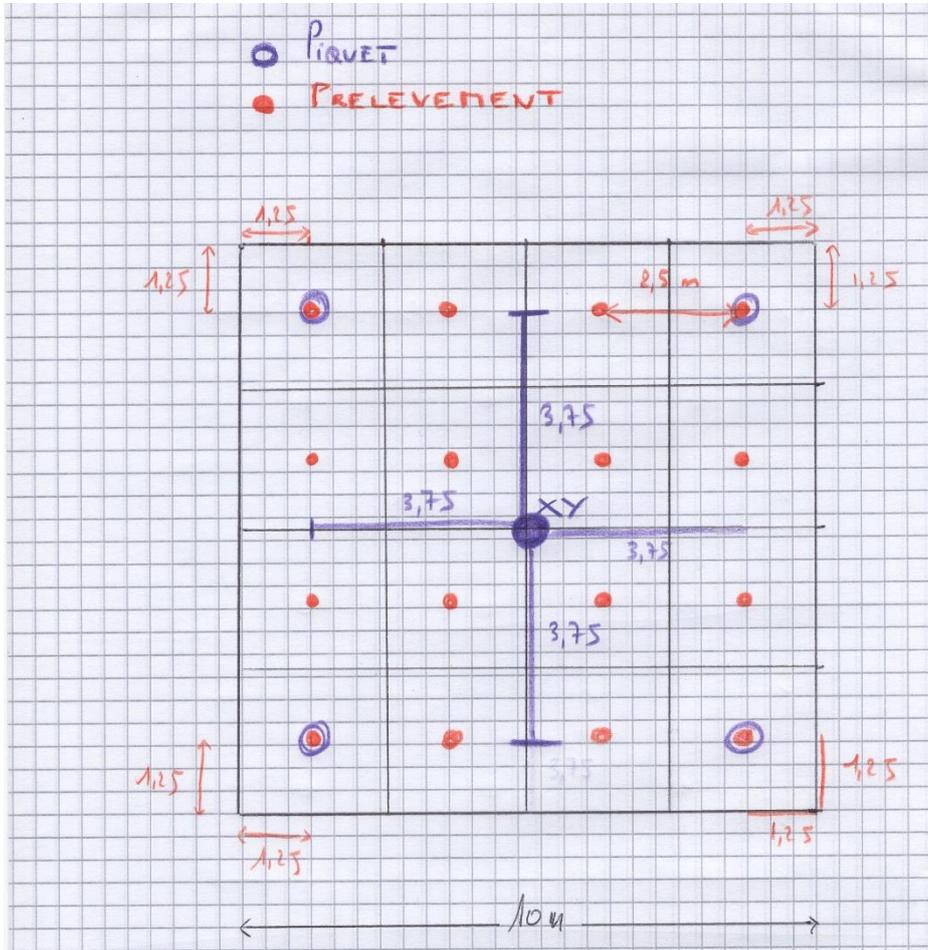
Rose des vents (moyenne annuelle de la vitesse et de la direction du vent à 50 m du sol) et maille considérée pour la modélisation à partir de stations existantes, Office fédéral de l'énergie



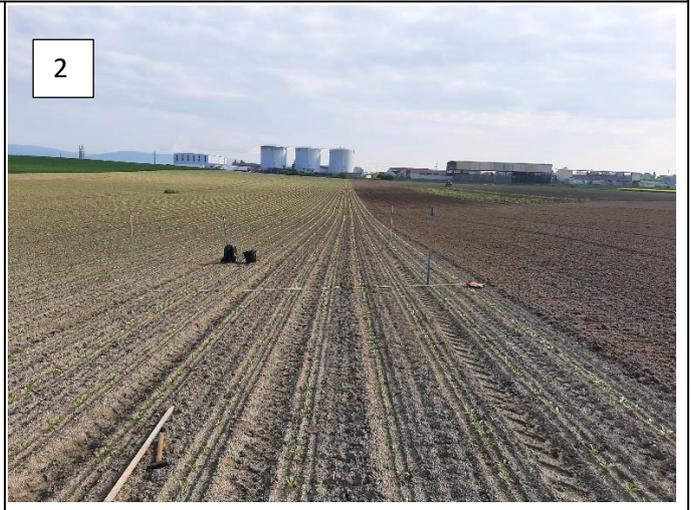
Annexe 2 : plan d'échantillonnage du 26 avril 2022



Annexe 3 : principe d'échantillonnage



Annexe 4 : photographies des placettes de prélèvement





13



Annexe 5 : bordereaux d'analyse du laboratoire Wessling AG

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE
Bureau pEaudSol
Madame Véronique Maître
Chemin de Galaises 1
1896 Miex

Commande n°.: ULS-03166-22
Interlocuteur: N. Amstutz
Ligne directe: +41 32 387 67 41
E-Mail: Nicolas.Amstutz@wessling.ch

Lyss, le 27.06.2022

Rapport no. ULS22-005260-1

Campagne dioxine dans les sols à proximité de l'ancienne UIOM de la Faye à Lully



ISO/IEC 17025

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS22-005260-1
Lyss, le 27.06.2022

Désignation d'échantillon N° d'échantillon	Unité	LQ	1 22-069998-01	2 22-069998-02	3 22-069998-03	4 22-069998-04	5 22-069998-05
---	-------	----	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------

Propriétés générales

Matière sèche	% masse MB	0.1	83	82	86	86	84
---------------	------------	-----	----	----	----	----	----

Préparation

Matières sèches (40°C)			09.05.2022	09.05.2022	09.05.2022	09.05.2022	09.05.2022
Partie fine < 2mm	% masse MS		76	59	70	64	58
Partie > 2 mm	% masse MS		24	41	30	36	42

Substances organiques moyennement et peu volatiles

PCB type dioxine

PCB n° 77	ng/kg MS	50					
PCB n° 81	ng/kg MS	25					
PCB n° 126	ng/kg MS	13					
PCB n° 169	ng/kg MS	25					
PCB n° 105	ng/kg MS	250					
PCB n° 114	ng/kg MS	200					
PCB n° 118	ng/kg MS	1000					
PCB n° 123	ng/kg MS	50					
PCB n° 156	ng/kg MS	250					
PCB n° 157	ng/kg MS	50					
PCB n° 167	ng/kg MS	100					
PCB n° 189	ng/kg MS	100					
PCB-TEQ (OMS 2005) excl. LQ	ng/kg MS						
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. ½ LQ	ng/kg MS						
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. LQ	ng/kg MS						

DIOXINES ET FURANES (par GC-MS/MS)

Dibenzodioxines polychlorés (PCDD)

2,3,7,8 TCDD	ng/kg MS	<0.4	<0.4	<0.4	<0.8	<0.4
1,2,3,7,8 PeCDD	ng/kg MS	<0.4	<0.4	<0.4	<0.8	<0.4
1,2,3,4,7,8-HxCDD	ng/kg MS	<0.8	<0.8	<0.8	<1.6	<0.8
1,2,3,6,7,8 HxCDD	ng/kg MS	<0.8	<0.8	<0.8	<1.6	<0.8
1,2,3,7,8,9-HxCDD	ng/kg MS	<0.8	<0.8	<0.8	<1.6	<0.8
1,2,3,4,6,7,8 HpCDD	ng/kg MS	3	4.8	2.7	<3.2	2.9
Octa CDD	ng/kg MS	15	18	13	11	14

Dibenzofuranes polychlorés (PCDF)

2,3,7,8 TCDF	ng/kg MS	1.1	0.78	<0.4	0.94	<0.4
1,2,3,7,8 PeCDF	ng/kg MS	0.78	0.89	<0.4	<0.8	<0.4
2,3,4,7,8 PeCDF	ng/kg MS	0.92	0.75	<0.4	<0.8	<0.4
1,2,3,4,7,8-HxCDF	ng/kg MS	<0.8	<0.8	<0.8	<1.6	<0.8
1,2,3,6,7,8 HxCDF	ng/kg MS	<0.8	<0.8	<0.8	<1.6	<0.8
2,3,4,6,7,8 HxBDF	ng/kg MS	<0.8	<0.8	<0.8	<1.6	<0.8
1,2,3,7,8,9-HxCDF	ng/kg MS	<0.8	<0.8	<0.8	<1.6	<0.8
1,2,3,4,6,7,8 HpCDF	ng/kg MS	<1.6	2	<1.6	<3.2	<1.6
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	ng/kg MS	<1.6	<1.6	<1.6	<3.2	<1.6
Octa CDF	ng/kg MS	<1.6	<1.6	<1.6	<3.2	<1.6

Valeurs calculées

I-TE (OTAN CCMS) excl. LOQ	ng/kg MS	0.654	0.584	0.04	0.105	0.043
I-TE (OTAN CCMS) incl. LOQ	ng/kg MS	1.85	1.76	1.49	2.96	1.5
PCDD/F-TEQ (OMS 2005) excl. LOQ	ng/kg MS	0.444	0.403	0.0309	0.0973	0.0332
PCDD/F-TEQ (OMS 2005) incl. LOQ	ng/kg MS	1.84	1.78	1.6	3.18	1.6
PCDD/F-TEQ (OMS 2005) incl. ½ LOQ	ng/kg MS	1.14	1.09	0.813	1.64	0.815

Rapport no. ULS22-005260-1
Lyss, le 27.06.2022

Désignation d'échantillon N° d'échantillon	Unité	LQ	6 22-069998-06	7 22-069998-07	8 22-069998-08	9 22-069998-09	10 22-069998-10
---	-------	----	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------

Propriétés générales

Matière sèche	% masse MB	0.1	84	85	84	85	86
---------------	------------	-----	----	----	----	----	----

Préparation

Matières sèches (40°C)			09.05.2022	09.05.2022	09.05.2022	09.05.2022	09.05.2022
Partie fine < 2mm	% masse MS		66	73	70	71	66
Partie > 2 mm	% masse MS		34	27	30	29	34

Substances organiques moyennement et peu volatiles

PCB type dioxine

PCB n° 77	ng/kg MS	50					
PCB n° 81	ng/kg MS	25					
PCB n° 126	ng/kg MS	13					
PCB n° 169	ng/kg MS	25					
PCB n° 105	ng/kg MS	250					
PCB n° 114	ng/kg MS	200					
PCB n° 118	ng/kg MS	1000					
PCB n° 123	ng/kg MS	50					
PCB n° 156	ng/kg MS	250					
PCB n° 157	ng/kg MS	50					
PCB n° 167	ng/kg MS	100					
PCB n° 189	ng/kg MS	100					
PCB-TEQ (OMS 2005) excl. LQ	ng/kg MS						
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. ½ LQ	ng/kg MS						
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. LQ	ng/kg MS						

DIOXINES ET FURANES (par GC-MS/MS)

Dibenzodioxines polychlorés (PCDD)

2,3,7,8 TCDD	ng/kg MS	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4
1,2,3,7,8 PeCDD	ng/kg MS	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4
1,2,3,4,7,8-HxCDD	ng/kg MS	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8
1,2,3,6,7,8 HxCDD	ng/kg MS	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8
1,2,3,7,8,9-HxCDD	ng/kg MS	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8
1,2,3,4,6,7,8 HpCDD	ng/kg MS	2.6	2.7	2.8	3.1	3.6	3.6
Octa CDD	ng/kg MS	13	12	14	17	22	22

Dibenzofuranes polychlorés (PCDF)

2,3,7,8 TCDF	ng/kg MS	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4
1,2,3,7,8 PeCDF	ng/kg MS	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4
2,3,4,7,8 PeCDF	ng/kg MS	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4
1,2,3,4,7,8-HxCDF	ng/kg MS	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8
1,2,3,6,7,8 HxCDF	ng/kg MS	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8
2,3,4,6,7,8 HxBDF	ng/kg MS	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8
1,2,3,7,8,9-HxCDF	ng/kg MS	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8
1,2,3,4,6,7,8 HpCDF	ng/kg MS	<1.6	<1.6	<1.6	<1.6	<1.6	<1.6
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	ng/kg MS	<1.6	<1.6	<1.6	<1.6	<1.6	<1.6
Octa CDF	ng/kg MS	<1.6	<1.6	<1.6	<1.6	<1.6	<1.6

Valeurs calculées

I-TE (OTAN CCMS) excl. LOQ	ng/kg MS	0.039	0.039	0.042	0.048	0.058	0.058
I-TE (OTAN CCMS) incl. LOQ	ng/kg MS	1.49	1.49	1.5	1.5	1.51	1.51
PCDD/F-TEQ (OMS 2005) excl. LOQ	ng/kg MS	0.0299	0.0306	0.0322	0.0361	0.0426	0.0426
PCDD/F-TEQ (OMS 2005) incl. LOQ	ng/kg MS	1.59	1.6	1.6	1.6	1.61	1.61
PCDD/F-TEQ (OMS 2005) incl. ½ LOQ	ng/kg MS	0.812	0.813	0.814	0.818	0.825	0.825

Rapport no. ULS22-005260-1
Lyss, le 27.06.2022

Désignation d'échantillon N° d'échantillon	Unité	LQ	11 22-069998-11	12 22-069998-12	13 22-069998-13	2 bis 22-069998-14	4 bis 22-069998-15
---	-------	----	--------------------	--------------------	--------------------	-----------------------	-----------------------

Propriétés générales

Matière sèche	% masse MB	0.1	86	85	86	83	78
---------------	------------	-----	----	----	----	----	----

Préparation

Matières sèches (40°C)			09.05.2022	09.05.2022	09.05.2022		
Partie fine < 2mm	% masse MS		67	65	69		
Partie > 2 mm	% masse MS		33	35	31		

Substances organiques moyennement et peu volatiles

PCB type dioxine

PCB n° 77	ng/kg MS	50				<50	61
PCB n° 81	ng/kg MS	25				<25	68
PCB n° 126	ng/kg MS	13				<13	70
PCB n° 169	ng/kg MS	25				<25	71
PCB n° 105	ng/kg MS	250				<250	<250
PCB n° 114	ng/kg MS	200				<200	<200
PCB n° 118	ng/kg MS	1000				<1000	<1000
PCB n° 123	ng/kg MS	50				<50	<50
PCB n° 156	ng/kg MS	250				<250	<250
PCB n° 157	ng/kg MS	50				<50	<50
PCB n° 167	ng/kg MS	100				<100	<100
PCB n° 189	ng/kg MS	100				<100	<100
PCB-TEQ (OMS 2005) excl. LQ	ng/kg MS					-/-	9.19
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. ½ LQ	ng/kg MS					1.04	9.22
PCB-TEQ (OMS 2005) incl. LQ	ng/kg MS					2.07	9.25

DIOXINES ET FURANES (par GC-MS/MS)

Dibenzodioxines polychlorés (PCDD)

2,3,7,8 TCDD	ng/kg MS		<0.4	<0.4	<0.4		
1,2,3,7,8 PeCDD	ng/kg MS		<0.4	<0.4	<0.4		
1,2,3,4,7,8-HxCDD	ng/kg MS		<0.8	<0.8	<0.8		
1,2,3,6,7,8 HxCDD	ng/kg MS		<0.8	<0.8	<0.8		
1,2,3,7,8,9-HxCDD	ng/kg MS		<0.8	<0.8	<0.8		
1,2,3,4,6,7,8 HpCDD	ng/kg MS		3.5	2.7	2.3		
Octa CDD	ng/kg MS		17	14	11		

Dibenzofuranes polychlorés (PCDF)

2,3,7,8 TCDF	ng/kg MS		<0.4	<0.4	<0.4		
1,2,3,7,8 PeCDF	ng/kg MS		<0.4	<0.4	<0.4		
2,3,4,7,8 PeCDF	ng/kg MS		<0.4	<0.4	<0.4		
1,2,3,4,7,8-HxCDF	ng/kg MS		<0.8	<0.8	<0.8		
1,2,3,6,7,8 HxCDF	ng/kg MS		<0.8	<0.8	<0.8		
2,3,4,6,7,8 HxBDF	ng/kg MS		<0.8	<0.8	<0.8		
1,2,3,7,8,9-HxCDF	ng/kg MS		<0.8	<0.8	<0.8		
1,2,3,4,6,7,8 HpCDF	ng/kg MS		<1.6	<1.6	<1.6		
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	ng/kg MS		<1.6	<1.6	<1.6		
Octa CDF	ng/kg MS		<1.6	<1.6	<1.6		

Valeurs calculées

I-TE (OTAN CCMS) excl. LOQ	ng/kg MS		0.052	0.041	0.034		
I-TE (OTAN CCMS) incl. LOQ	ng/kg MS		1.51	1.49	1.49		
PCDD/F-TEQ (OMS 2005) excl. LOQ	ng/kg MS		0.0401	0.0312	0.0263		
PCDD/F-TEQ (OMS 2005) incl. LOQ	ng/kg MS		1.6	1.6	1.59		
PCDD/F-TEQ (OMS 2005) incl. ½ LOQ	ng/kg MS		0.822	0.813	0.809		

Rapport no. ULS22-005260-1
Lyss, le 27.06.2022

Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	22-069998-01	22-069998-02	22-069998-03	22-069998-04	22-069998-05
Date de réception:	05.05.2022	05.05.2022	05.05.2022	05.05.2022	05.05.2022
Désignation	1	2	3	4	5
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement:	04.05.2022	04.05.2022	04.05.2022	04.05.2022	04.05.2022
Prélèvement par:	Client	Client	Client	Client	Client
Début des analyses:	05.05.2022	05.05.2022	05.05.2022	05.05.2022	05.05.2022
Fin des analyses:	27.06.2022	27.06.2022	27.06.2022	27.06.2022	27.06.2022
Echantillon-n°	22-069998-06	22-069998-07	22-069998-08	22-069998-09	22-069998-10
Date de réception:	05.05.2022	05.05.2022	05.05.2022	05.05.2022	05.05.2022
Désignation	6	7	8	9	10
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement:	04.05.2022	04.05.2022	04.05.2022	04.05.2022	04.05.2022
Prélèvement par:	Client	Client	Client	Client	Client
Début des analyses:	05.05.2022	05.05.2022	05.05.2022	05.05.2022	05.05.2022
Fin des analyses:	27.06.2022	27.06.2022	27.06.2022	27.06.2022	27.06.2022
Echantillon-n°	22-069998-11	22-069998-12	22-069998-13	22-069998-14	22-069998-15
Date de réception:	05.05.2022	05.05.2022	05.05.2022	05.05.2022	05.05.2022
Désignation	11	12	13	2 bis	4 bis
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement:	04.05.2022	04.05.2022	04.05.2022	04.05.2022	04.05.2022
Prélèvement par:	Client	Client	Client	Client	Client
Début des analyses:	05.05.2022	05.05.2022	05.05.2022	05.05.2022	05.05.2022
Fin des analyses:	27.06.2022	27.06.2022	27.06.2022	27.06.2022	27.06.2022

Méthodes

Paramètres

Matières sèches sur solide (séché à l'air à 40 °C)
 Tamisage de solides
 Dioxines polychlorés dans les sols
 Furanés polychlorés dans les sols
 Valeurs calculés de dioxines et furanes polychlorés dans les sols
 Matière sèches
 PCB "dioxine-like" /OMS sur matière solide

Norme

DIN EN 12880 mod.^A
 DIN ISO 11464 (2006-12)^A
 DIN 38414 S24^A
 DIN 38414 S24^A
 DIN 38414 S24^A
 DIN ISO 11465 (1996-12)^A
 EPA 1613 mod. (1994-10)^A

Laboratoire

Laboratoire Lyss CH (CH)
 Umweltanalytik Altenberge (D)

A = procédé de mesure accrédité (ISO 17025)
 MB = matière brute
 MS = matière sèche
 LQ = limite de quantification
 E/L = eau / lixiviat
 G = gaz
 nd = non détecté
 LB = liant bitumineux

Rapport no. ULS22-005260-1
Lyss, le 27.06.2022

Commentaires

22-069998-04

Commentaires des résultats:

Dioxines sol: En raison des interférences de la matrice, la limite de quantification a été augmentée.

22-069998-01 -02 -03 -04 -05 -06 -07 -08 -09 -10 -11 -12 -13

Commentaires des résultats:

PCDD/F: Extraction Soxhlet

Des compléments d'information sur les principes d'analyses, par exemple les incertitudes de mesure, sont disponibles sur demande.

Ce document a été créé électroniquement et est également valable sans signature.

Heinrich Kalt

Directeur, Dr. rer. nat

WESSLING AG, Werkstrasse 27, 3250 Lyss BE
Bureau pEaudSol
Madame Véronique Maître
Chemin de Galaises 1
1896 Miex

Commande n°.: ULS-03166-22
Interlocuteur: N. Amstutz
Ligne directe: +41 32 387 67 41
E-Mail: Nicolas.Amstutz@wessling.ch

Lyss, le 14.07.2022

Rapport no. ULS22-005835-1

Campagne dioxine dans les sols à proximité de l'ancienne UIOM de la Faye à Lully



ISO/IEC 17025

Les résultats d'analyses se fondent uniquement sur les échantillons à notre disposition. Ce rapport ne peut être reproduit partiellement qu'avec l'autorisation préalable de WESSLING AG (DIN EN ISO/IEC 17025).

Rapport no. ULS22-005835-1
Lyss, le 14.07.2022

Désignation d'échantillon			1	2	3	4	5
N° d'échantillon	Unité	LQ	22-069998-01	22-069998-02	22-069998-03	22-069998-04	22-069998-05

Substances organiques moyennement et peu volatiles

PCB

PCB n° 28	mg/kg MS	0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
PCB n° 52	mg/kg MS	0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
PCB n° 101	mg/kg MS	0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
PCB n° 118	mg/kg MS	0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
PCB n° 138	mg/kg MS	0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
PCB n° 153	mg/kg MS	0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
PCB n° 180	mg/kg MS	0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Somme des 7 PCB	mg/kg MS		-/-	-/-	-/-	-/-	-/-

Rapport no. ULS22-005835-1
Lyss, le 14.07.2022

Désignation d'échantillon N° d'échantillon	Unité	LQ	6 22-069998-06	7 22-069998-07	8 22-069998-08	9 22-069998-09	10 22-069998-10
---	-------	----	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------

Substances organiques moyennement et peu volatile:

PCB

PCB n° 28	mg/kg MS	0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
PCB n° 52	mg/kg MS	0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
PCB n° 101	mg/kg MS	0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
PCB n° 118	mg/kg MS	0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
PCB n° 138	mg/kg MS	0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
PCB n° 153	mg/kg MS	0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
PCB n° 180	mg/kg MS	0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Somme des 7 PCB	mg/kg MS		-/-	-/-	-/-	-/-	-/-

Rapport no. ULS22-005835-1
Lyss, le 14.07.2022

Désignation d'échantillon N° d'échantillon	Unité	LQ	11 22-069998-11	12 22-069998-12	13 22-069998-13
---	-------	----	--------------------	--------------------	--------------------

Substances organiques moyennement et peu volatile:

PCB

PCB n° 28	mg/kg MS	0.002	<0.002	<0.002	<0.002
PCB n° 52	mg/kg MS	0.002	<0.002	<0.002	<0.002
PCB n° 101	mg/kg MS	0.002	<0.002	<0.002	<0.002
PCB n° 118	mg/kg MS	0.002	<0.002	<0.002	<0.002
PCB n° 138	mg/kg MS	0.002	<0.002	<0.002	<0.002
PCB n° 153	mg/kg MS	0.002	<0.002	<0.002	<0.002
PCB n° 180	mg/kg MS	0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Somme des 7 PCB	mg/kg MS		-/-	-/-	-/-

Rapport no. ULS22-005835-1
Lyss, le 14.07.2022

Informations sur les échantillons

Echantillon-n°	22-069998-01	22-069998-02	22-069998-03	22-069998-04	22-069998-05
Date de réception:	05.05.2022	05.05.2022	05.05.2022	05.05.2022	05.05.2022
Désignation	1	2	3	4	5
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement:	04.05.2022	04.05.2022	04.05.2022	04.05.2022	04.05.2022
Prélèvement par:	Client	Client	Client	Client	Client
Début des analyses:	05.07.2022	05.07.2022	05.07.2022	05.07.2022	05.07.2022
Fin des analyses:	14.07.2022	14.07.2022	14.07.2022	14.07.2022	14.07.2022
Echantillon-n°	22-069998-06	22-069998-07	22-069998-08	22-069998-09	22-069998-10
Date de réception:	05.05.2022	05.05.2022	05.05.2022	05.05.2022	05.05.2022
Désignation	6	7	8	9	10
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Prélèvement:	04.05.2022	04.05.2022	04.05.2022	04.05.2022	04.05.2022
Prélèvement par:	Client	Client	Client	Client	Client
Début des analyses:	05.07.2022	05.07.2022	05.07.2022	05.07.2022	05.07.2022
Fin des analyses:	14.07.2022	14.07.2022	14.07.2022	14.07.2022	14.07.2022
Echantillon-n°	22-069998-11	22-069998-12	22-069998-13		
Date de réception:	05.05.2022	05.05.2022	05.05.2022		
Désignation	11	12	13		
Type d'échantillons:	Sol	Sol	Sol		
Prélèvement:	04.05.2022	04.05.2022	04.05.2022		
Prélèvement par:	Client	Client	Client		
Début des analyses:	05.07.2022	05.07.2022	05.07.2022		
Fin des analyses:	14.07.2022	14.07.2022	14.07.2022		

Méthodes

Paramètres

Polychlorobiphényles (PCB)

Norme

ISO 10382 mod.^A

Laboratoire

Laboratoire Lyss CH (CH)

A = procédé de mesure accrédité (ISO 17025)

MB = matière brute

MS = matière sèche

LQ = limite de quantification

E/L = eau / lixiviat

G = gaz

nd = non détecté

LB = liant bitumineux

Rapport no. ULS22-005835-1
Lyss, le 14.07.2022

Commentaires

22-069998-01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13

Commentaires des résultats:

7 PCB: Analystes déterminés dans la fraction fine (échantillon préparé précédemment ; cf. Rapport d'essais ULS22-005260-1)

Des compléments d'information sur les principes d'analyses, par exemple les incertitudes de mesure, sont disponibles sur demande.

Ce document a été créé électroniquement et est également valable sans signature.

Heinrich Kalt

Directeur, Dr. rer. nat

Rapport no. ULS22-005835-1
Lyss, le 14.07.2022

Commentaires

22-069998-01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13

Commentaires des résultats:

7 PCB: Analystes déterminés dans la fraction fine (échantillon préparé précédemment ; cf. Rapport d'essais ULS22-005260-1)

Des compléments d'information sur les principes d'analyses, par exemple les incertitudes de mesure, sont disponibles sur demande.

Ce document a été créé électroniquement et est également valable sans signature.

Heinrich Kalt
Directeur, Dr. rer. nat

**Annexe 6 : détail des calculs des teneurs en (PCDD/F + dl-PCB) dans
les échantillons 2 et 4**

N°4 avec < LQ à zéro

	WHO ₀₅ TEF	No 2	No 4	No 2	No 4
		concentration ng/kg MS		WHO ₀₅ -TEQ ng/kg MS	
2,3,7,8-TeCDD	1	0	0	0	0
1,2,3,7,8-PeCDD	1	0	0	0	0
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,1	0	0	0	0
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0,1	0	0	0	0
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,1	0	0	0	0
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0,01	4,8	0	0,048	0
OCDD	0,0003	18	11	0,0054	0,0033
2,3,7,8-TeCDF	0,1	0,78	0,94	0,078	0,094
1,2,3,7,8-PeCDF	0,03	0,89	0	0,0267	0
2,3,4,7,8-PeCDF	0,3	0,75	0	0,225	0
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,1	0	0	0	0
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0,1	0	0	0	0
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0,1	0	0	0	0
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0,1	0	0	0	0
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,01	2	0	0,02	0
1,2,3,4,7,8-HpCDF	0,01	0	0	0	0
OCDF	0,0003	0	0	0	0
PCDD/F (WHO₀₅-TEQ) excl LQ (ng/kg MS)				0,4031	0,0973

N°4 avec < LQ à LQ

	WHO ₀₅ TEF	No 2	No 4	No 2	No 4
		concentration ng/kg MS		WHO ₀₅ -TEQ ng/kg MS	
2,3,7,8-TeCDD	1	0	0,8	0	0,8
1,2,3,7,8-PeCDD	1	0	0,8	0	0,8
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,1	0	1,6	0	0,16
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0,1	0	1,6	0	0,16
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,1	0	1,6	0	0,16
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0,01	4,8	3,2	0,048	0,032
OCDD	0,0003	18	11	0,0054	0,0033
2,3,7,8-TeCDF	0,1	0,78	0,94	0,078	0,094
1,2,3,7,8-PeCDF	0,03	0,89	0,8	0,0267	0,024
2,3,4,7,8-PeCDF	0,3	0,75	0,8	0,225	0,24
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,1	0	1,6	0	0,16
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0,1	0	1,6	0	0,16
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0,1	0	1,6	0	0,16
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0,1	0	1,6	0	0,16
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,01	2	3,2	0,02	0,032
1,2,3,4,7,8-HpCDF	0,01	0	3,2	0	0,032
OCDF	0,0003	0	3,2	0	0,00096
PCDD/F (WHO₀₅-TEQ) excl LQ (ng/kg MS)				0,4031	3,17826

	WHO ₀₅ TEF	No 2	No 4	No 2	No 4
		concentration ng/kg MS		WHO ₀₅ -TEQ ng/kg MS	
dl-PCB 77	0,0001	0	61	0	0,0061
dl-PCB 81	0,0003	0	68	0	0,0204
dl-PCB 126	0,1	0	70	0	7
dl-PCB 169	0,03	0	71	0	2,13
dl-PCB 105	0,00003	0	0	0	0
dl-PCB 114	0,00003	0	0	0	0
dl-PCB 118	0,00003	0	0	0	0
dl-PCB 123	0,00003	0	0	0	0
dl-PCB 156	0,00003	0	0	0	0
dl-PCB 157	0,00003	0	0	0	0
dl-PCB 167	0,00003	0	0	0	0
dl-PCB 189	0,00003	0	0	0	0
dl-PCB (WHO₀₅-TEQ) excl LQ (ng/kg MS)				0	9,1565

	WHO ₀₅ TEF	No 2	No 4	No 2	No 4
		concentration ng/kg MS		WHO ₀₅ -TEQ ng/kg MS	
dl-PCB 77	0,0001	0	61	0	0,0061
dl-PCB 81	0,0003	0	68	0	0,0204
dl-PCB 126	0,1	0	70	0	7
dl-PCB 169	0,03	0	71	0	2,13
dl-PCB 105	0,00003	0	0	0	0
dl-PCB 114	0,00003	0	0	0	0
dl-PCB 118	0,00003	0	0	0	0
dl-PCB 123	0,00003	0	0	0	0
dl-PCB 156	0,00003	0	0	0	0
dl-PCB 157	0,00003	0	0	0	0
dl-PCB 167	0,00003	0	0	0	0
dl-PCB 189	0,00003	0	0	0	0
dl-PCB (WHO₀₅-TEQ) excl LQ (ng/kg MS)				0	9,1565

(dl-PCB + PCDD/F) WHO₀₅-TEQ excl LQ (ng/kg MS)	0,4031	9,2538
--	---------------	---------------

(dl-PCB + PCDD/F) WHO₀₅-TEQ excl LQ (ng/kg MS)	0,4031	12,33476
--	---------------	-----------------