



**Unisanté – Centre universitaire de médecine générale et santé publique
Département Santé, Travail et Environnement (DSTE)**

Contamination des sols de la région lausannoise aux dioxines/furanes – Consommation d’œufs et de légumes de la ferme de Rovéréaz

Aurélie Berthet, Christelle Oltramare, David Vernez

unisanté
Centre universitaire de médecine générale
et santé publique • Lausanne

Unil
UNIL | Université de Lausanne

Rapport du mandat OMC/2022/001

Le Centre universitaire de médecine générale et santé publique Unisanté regroupe, depuis le 1er janvier 2019, les compétences de la Polidinique médicale universitaire, de l'Institut universitaire de médecine sociale et préventive, de l'Institut universitaire romand de santé au travail et de Promotion Santé Vaud. Il a pour missions :

- les prestations de la première ligne de soins (en particulier l'accès aux soins et l'orientation au sein du système de santé);
- les prestations en lien avec les populations vulnérables ou à besoins particuliers;
- les interventions de promotion de la santé et de prévention (I et II);
- les expertises et recherches sur l'organisation et le financement des systèmes de santé;
- les activités de recherche, d'évaluation et d'enseignement universitaire en médecine générale et communautaire, en santé publique et en santé au travail.

Dans le cadre de cette dernière mission, Unisanté publie les résultats de travaux de recherche scientifique financés par des fonds de soutien à la recherche et des mandats de service en lien avec la santé publique. Il établit à cet égard différents types de rapports, au nombre desquels ceux de **la collection « Raisons de santé »** qui s'adressent autant à la communauté scientifique qu'à un public averti, mais sans connaissances scientifiques fines des thèmes abordés. Les mandats de service sont réalisés pour le compte d'administrations fédérales ou cantonales, ou encore d'instances non gouvernementales (associations, fondations, etc.) œuvrant dans le domaine de la santé et/ou du social.

Étude financée par :

Direction générale de la santé (DGS) – Office du médecin cantonal.

Remerciements :

au Dr Markus Zennegg (EMPA), à M. Christian Richard (Chimiste cantonal – Vaud), à M. Giovanni Peduto (Vétérinaire cantonal – Vaud), au Service des Parcs et Domaines et à la Direction du logement, de l'environnement et de l'architecture de la Ville de Lausanne.

Date d'édition : 10 février 2022

Table des matières

1	Contexte du mandat	5
2	Méthodologie	6
2.1	Echantillonnage des œufs	6
2.2	Echantillonnage des légumes racines	6
3	Résultats	7
3.1	Les œufs	7
3.2	Les légumes racines	9
4	Conclusions	9
5	Recommandations	11
6	Références	11
7	Annexes	12

Liste des tableaux

- Tableau 1 Concentrations en PCDD/Fs, en PCB type dioxine (dl-PCB) et en total PCDD/Fs et dl-PCB pour les douze œufs échantillonnés. Les résultats représentent la somme des 17 congénères PCDD/Fs et des 12 congénères dl-PCB analysés et ont été transformés en équivalents toxiques (TEQ_{WHO-05}), exprimés en pg TEQ_{WHO-05}/g gras (ou ng TEQ_{WHO-05}/kg gras). 8
- Tableau 2 Concentrations en PCDD/Fs, en PCB type dioxine (dl-PCB) et en total PCDD/Fs et dl-PCB pour les carottes et les céleris échantillonnés. Les résultats représentent la somme des 17 congénères PCDD/Fs et des 12 congénères dl-PCB analysés et ont été transformés en équivalents toxiques (TEQ_{WHO-05}), exprimés en pg TEQ_{WHO-05}/g de matière fraîche (MF) (ou ng TEQ_{WHO-05}/kg MF). 9

Liste des figures

- Figure 1 Variabilité des concentrations totales en PCDD/Fs et dl-PCB (pg TEQ_{WHO-05}/g de gras) dans les douze œufs échantillonnés 10

1 Contexte du mandat

La Ferme de Rovéréaz est une ferme agroécologique située Route d'Oron 127 à Lausanne. Cette ferme exploite 28.5 hectares de terres en cultivant différentes variétés de légumes et élevant des poules pour leurs œufs. Les légumes et les œufs sont directement vendus aux consommateurs. Les terrains de la ferme appartiennent à la Ville de Lausanne.

Dans la perspective de délimiter la contamination aux dioxines/furanes (PCDD/Fs) dans la région lausannoise au seuil d'investigation défini à 20 ng TEQ_{WHO-05}/kg de sol, trois mesures ont été effectuées sur les terrains de la ferme pour connaître les concentrations en PCDD/Fs. Les résultats montrent un léger dépassement du seuil d'investigation de l'OSol, à 23 ng TEQ_{WHO-05}/kg de sol, pour la partie ouest du terrain. La ferme détenant un poulailler et les graisses animales, comme le jaune des œufs, étant de bons concentrateurs en PCDD/Fs, les concentrations en PCDD/Fs présentes dans les œufs de la ferme peuvent poser question. En effet, un dépassement des seuils relatifs à la mise sur le marché des produits selon l'annexe 5 de l'Ordonnance sur les contaminants (OCont) du Département fédéral de l'intérieur (DFI) pourrait être plausible pour des concentrations en PCDD/Fs inférieures au seuil d'investigation liées à la contamination des sols (Ordonnance sur les atteintes portées aux sols (OSol)). L'inhomogénéité du sol et les variations dans les habitudes de picorage des poules peuvent aussi conduire à une forte variabilité de l'échantillon.

Après discussion avec le Chef de l'Unité Agriculture du Service des parcs et domaines (SPADOM) de la Ville de Lausanne (M. Didier Fattebert) et du responsable de la Ferme (M. Gilles Berger), il s'avère que la majorité du terrain de la ferme est située dans des zones où les concentrations en PCDD/Fs sont d'environ 10 ng TEQ_{WHO-05}/kg de sol. Une visite, effectuée le 6 décembre 2021 a également permis de préciser que la partie ouest du terrain n'est pas exploitée pour cultiver les légumes ni élever de la volaille. Le poulailler se situe dans les vergers et il est mobile. Les poules sont nourries hors-sol, même si elles peuvent toujours avoir accès et picorer la terre, ce qui limite probablement l'absorption de terre contaminée aux PCDD/Fs par les poules.

Pour adresser cette question, la Direction générale de la santé (DGS) du Canton de Vaud a sollicité le Département santé, travail et environnement (DSTE) d'Unisanté pour une investigation approfondie. L'objectif général du mandat est de conduire une évaluation des concentrations de PCDD/Fs dans les œufs et les légumes racines issus de la ferme de Rovéréaz. La démarche proposée se base sur les résultats obtenus dans l'évaluation sanitaire générale effectuée sur la contamination des sols de la Ville de Lausanne aux dioxines (mandat # 1525_007). Elle vise à approfondir la question du seuil de dépassement des normes alimentaires mais aussi de la variabilité de l'échantillonnage.

2 Méthodologie

2.1 Echantillonnage des œufs

Pour évaluer la concentration de dioxines dans les œufs issus du poulailler de la Ferme de Rovéréaz, douze œufs ont été collectés pour une analyse des 17 congénères de PCDD/Fs ainsi que les biphényles polychlorés (PCB) de type dioxine. Les œufs provenaient de poules différentes en raison de la variation intra-échantillon attendue pour les concentrations en PCDD/Fs (Arkenbout and Ebsensen, 2017). Ils ont été collectés le matin du 6 décembre 2021. La démarche s'est effectuée de manière transparente et en collaboration avec le responsable de la Ferme de Rovéréaz et le Service des parcs et domaines (SPADOM) de la Ville de Lausanne, propriétaire du terrain de la Ferme.

Un échantillonnage de 12 œufs est recommandé par le Règlement (UE) 2017/644 de la Commission européenne (The European Commission, 2017). Ce nombre est nécessaire pour être représentatif et former un échantillon global pour le contrôle des teneurs en PCDD/Fs et en PCB de type dioxine (dl-PCB). Cette taille de l'échantillon est applicable tant « pour les lots en vrac que pour les lots constitués d'emballages distincts » (The European Commission, 2017).

Les analyses ont été réalisées par le Dr. Markus Zennegg, du Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche (EMPA, ou Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt en allemand). Chaque œuf a été analysé séparément pour permettre d'apprécier la variabilité au sein de l'échantillon.

2.2 Echantillonnage des légumes racines

La saison des cucurbitacées étant terminée au mois de décembre à la ferme, il n'a donc pas été possible d'échantillonner ces légumes (ni frais, ni congelés) pour les analyser. Cependant, un rapport intitulé « Essentiels : cucurbitacées et dioxines »^a a été rédigé par Unisanté sur demande de la Ville de Lausanne afin d'évaluer le risque sanitaire de manger des cucurbitacées cultivées à la ferme de Rovéréaz. Cette évaluation s'est basée sur les résultats des analyses de trois courges collectées au plantage Victor-Ruffy^b et sur les données du rapport TROPHé (ADEME and INERIS, 2017). Les concentrations en PCDD/Fs p dans le sol du plantage Vitor-Ruffy étaient de 76 ng TEQ_{WHO-05}/kg de sol, et les teneurs mesurées dans les courges (de 0.04 à 0.3 pg TEQ_{WHO-05}/g masse fraîche (MF)) étaient inférieures à celles attendues sur la base de l'étude TROPHé pour des concentrations similaires de PCDD/Fs dans le sol (>1 pg TEQ_{WHO-05}/g MF). Du fait des concentrations en PCDD/Fs dans les sols de la ferme Rovéréaz inférieures (10 ng TEQ_{WHO-05}/kg de sol, hors de la zone ouest) au seuil d'investigation (20 ng TEQ_{WHO-05}/kg de sol) et de la faible fréquence de consommation (culture saisonnière) de ces légumes, l'absorption de PCDD/Fs attendue par leur consommation reste

^a Christelle Oltramare, Aurélie Berthet, David Vernez (2022) Essentiels : cucurbitacées et dioxines. Unisanté – Centre universitaire de médecine générale et santé publique, Département santé, travail et environnement – DSTE. 3 pages.

^b Résultats disponibles à la page 34 du rapport Raisons de santé 325 (<https://doi.org/10.16908/issn.1660-7104/325>).

marginale par rapport à l'absorption attendue par la consommation alimentaire usuelle^c. Le rapport conclut donc que la consommation des cucurbitacées cultivées sur le site de Rovéréaz ne présente pas de risque sanitaire.

Toutefois, du fait des grandes quantités de légumes produits et commercialisés à la ferme de Rovéréaz, une vérification des concentrations en PCDD/Fs dans deux variétés de légumes supplémentaires a été effectuée. Cette vérification a été faite sur des légumes racines. La collecte et l'envoi d'un kilogramme de carottes et d'un kilogramme de céleris ont été effectués le 13 janvier 2022.

Les analyses ont également été réalisées par le laboratoire du Dr Markus Zennegg localisé à l'EMPA. Toutes les carottes ont été analysées ensemble et tous les céleris ont été analysés ensemble, et non séparément. Les légumes ont été pelés avant l'analyse.

3 Résultats

3.1 Les œufs

Le Tableau 1 présente les résultats des concentrations en PCDD/Fs, en PCB type dioxine (dl-PCB) et pour la somme des PCDD/Fs et des dl-PCB mesurées dans les douze œufs échantillonnés.

La concentration moyenne pour les douze œufs analysés est de 1.71 pg TEQ_{WHO-05}/g de gras pour les PCDD/Fs et de 2.03 pg TEQ_{WHO-05}/g de gras pour la somme des PCDD/Fs et des dl-PCB. Selon l'annexe 5 de l'Ordonnance sur les contaminants (OCont) du DFI, la teneur maximale est de 2.5 pg TEQ_{WHO-05}/g de gras pour les PCDD/Fs et de 5 pg TEQ_{WHO-05}/g de gras pour la somme des PCDD/Fs avec les dl-PCB (DFI, 2016).

Les résultats montrent une variabilité entre les concentrations des douze œufs et un œuf a des concentrations supérieures aux teneurs de l'OCont. Cet œuf dépasse de plus de 3 fois la teneur maximale pour les PCDD/Fs (8.16 pg TEQ_{WHO-05}/g de gras) et de plus de 1.5 fois la teneur maximale pour la somme des PCDD/Fs et dl-PCB (8.73 pg TEQ_{WHO-05}/g de gras). Un autre œuf est très proche de la teneur maximale pour les dioxines (2.48 pg TEQ_{WHO-05}/g de gras) mais pas pour la somme des PCDD/Fs et dl-PCB (2.97 pg TEQ_{WHO-05}/g). Ces concentrations restent donc inférieures aux teneurs maximales de l'OCont.

^c D'un point de vue légal, l'Ordonnance sur les contaminants (OCont) RS 817.022.15 – Ordonnance du DFI du 16 décembre 2016 sur les teneurs maximales en contaminants est la seule législation qui définit des valeurs pour les PCDD/Fs pour les denrées alimentaires. Les teneurs maximales établies visent à limiter les contaminations des produits alimentaires lors de la mise sur le marché. Il n'existe pas de valeurs limites spécifiques aux légumes.

Tableau 1 Concentrations en PCDD/Fs, en PCB type dioxine (dl-PCB) et en total PCDD/Fs et dl-PCB pour les douze œufs échantillonnés. Les résultats représentent la somme des 17 congénères PCDD/Fs et des 12 congénères dl-PCB analysés, ils ont été transformés en équivalents toxiques (TEQ_{WHO-05}) et sont exprimés en pg TEQ_{WHO-05} /g gras (ou ng TEQ_{WHO-05} /kg gras).

pg TEQ _{WHO-05} /g gras	Œuf #												Moyenne (± SD)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Σ WHO-TEQ max. (PCDD/F)	1.09	0.65	2.48	1.02	0.96	1.06	0.47	1.41	0.63	1.79	8.16	0.82	1.71 (± 2.11)
Σ WHO-TEQ min. (PCDD/F)	1.08	0.64	2.48	1.01	0.96	1.05	0.46	1.40	0.62	1.77	8.16	0.81	1.70 (± 2.11)
Σ WHO-TEQ max. (dl-PCB)	0.36	0.19	0.49	0.16	0.27	0.20	0.13	0.74	0.12	0.40	0.57	0.15	0.31 (± 0.20)
Σ WHO-TEQ min. (dl-PCB)	0.32	0.01	0.44	0.13	0.24	0.18	0.008	0.70	0.009	0.35	0.54	0.008	0.24 (± 0.23)
Σ Total WHO-TEQ max. (PCDD/F + dl-PCB)	1.45	0.84	2.97	1.17	1.23	1.26	0.60	2.15	0.75	2.18	8.73	0.97	2.03 (± 2.22)
Σ Total WHO-TEQ min. (PCDD/F + dl-PCB)	1.40	0.65	2.92	1.14	1.20	1.23	0.47	2.10	0.63	2.12	8.71	0.82	1.95 (± 2.25)

Les valeurs mises en gras sont les valeurs supérieures ou égales aux teneurs maximales établies par l'Ordonnance sur les contaminants (OCont) du DFI, soit 2.5 pg TEQ_{WHO-05}/g de gras pour les PCDD/Fs et 5 pg TEQ_{WHO-05}/g de gras pour les dl-PCB et pour la somme des PCDD/Fs et dl-PCB.

L'interprétation de la variabilité de l'échantillon n'est pas précisée dans l'OCont, mais elle fait l'objet d'une directive européenne (The European Commission, 2017). La concentration déterminante pour une mise des œufs sur le marché est la moyenne arithmétique des 12 œufs. Dans le présent échantillon, cette moyenne est effectivement inférieure au seuil de l'OCont. Un échange avec le chimiste cantonal et le vétérinaire cantonal en date du mercredi 2 février 2022, a permis de confirmer la conformité du lot analysé.

3.2 Les légumes racines

Le Tableau 2 présente les résultats des concentrations moyennes en PCDD/Fs, en PCB type dioxine (dl-PCB) et pour la somme des PCDD/Fs et des dl-PCB mesurés dans les carottes et les céleris échantillonnés à la ferme de Rovéréaz.

Tableau 2 Concentrations en PCDD/Fs, en PCB type dioxine (dl-PCB) et en total PCDD/Fs et dl-PCB pour les carottes et les céleris échantillonnés. Les résultats représentent la somme des 17 congénères PCDD/Fs et des 12 congénères dl-PCB analysés, ils ont été transformés en équivalents toxiques (TEQ_{WHO-05}) et sont exprimés en $pg TEQ_{WHO-05} /g$ de matière fraîche (MF) (ou $ng TEQ_{WHO-05} /kg$ MF).

$pg TEQ_{WHO-05} /g$ MF	Carottes pelées	Céleris pelés
Σ WHO-TEQ (PCDD/PCDF)	0.0030	0.0063
Σ WHO-TEQ (dl-PCB)	0.0029	0.0015
Σ Total WHO-TEQ. (PCDD/PCDF+dl-PCB)	0.0059	0.0078

Les résultats montrent des concentrations très faibles en PCDD/Fs pour les carottes pelées et pour les céleris pelés. Toutefois, comme mentionné précédemment pour les cucurbitacées, il n'existe pas de teneurs maximales pour les denrées alimentaires qui sont spécifiques aux légumes dans l'Annexe 5 de l'OCont. Il existe seulement une teneur maximale en PCDD/Fs pour des denrées alimentaires destinées aux nourrissons et aux enfants en bas âge. Cette valeur est fixée à 0.1 $pg TEQ_{WHO-05}/g$ de matière fraîche pour les PCDD/Fs. Bien que ces aliments ne soient pas destinés spécifiquement à la consommation des nourrissons, il est intéressant de noter que les concentrations obtenues pour les légumes échantillonnés sont bien inférieures à cette valeur.

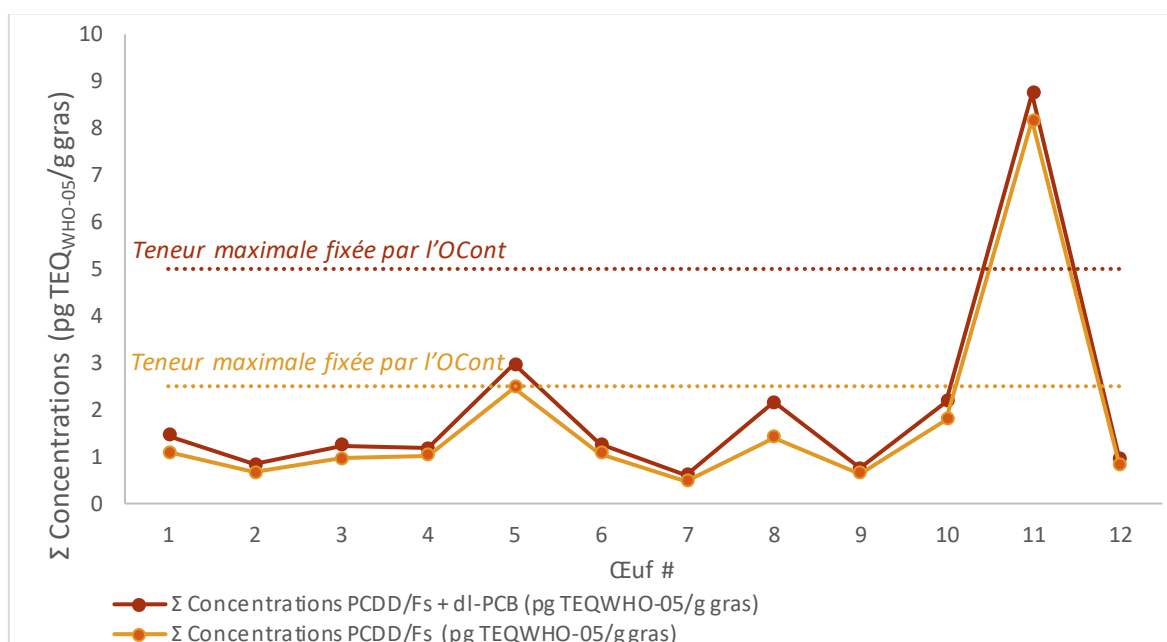
4 Conclusions

Les œufs et les légumes racines issus de la ferme de Rovéréaz sont conformes aux exigences de l'OCont. Les concentrations en PCDD/Fs dans la grande majorité du terrain de la ferme de Rovéréaz étant mesurées à 10 $ng TEQ_{WHO-05}/kg$ de sol, en particulier pour le site du poulailler et pour la culture des légumes, il était important de vérifier que les denrées étaient inférieures aux teneurs maximales en PCDD/Fs fixées par l'Annexe 5 de l'OCont.

La concentration moyenne pour les œufs est de 1.71 $pg TEQ_{WHO-05}/g$ de gras pour les PCDD/Fs et de 2.03 $pg TEQ_{WHO-05}/g$ de gras pour la somme des PCDD/Fs et dl-PCB. Du fait que la concentration moyenne de l'échantillon des œufs est la valeur déterminante pour la conformité du lot et la mise sur le marché des œufs pour l'OCont, les œufs issus de la ferme de Rovéréaz sont donc commercialisables. Les poules étant nourries hors-sol au moyen d'un poulailler mobile dans le

verger, l'ingestion de terre ou d'autres animaux vivant dans la terre (ex. : vers de terre ou autres insectes) est probablement limitée. Comme attendu, les résultats montrent une certaine variabilité dans les concentrations en PCDD/Fs mesurées dans les œufs (voir Figure 1). Cette variabilité met bien en évidence l'influence du comportement individuel des poules.

Figure 1 Variabilité des concentrations totales en PCDD/Fs et dl-PCB (pg TEQ_{WHO-05}/g de gras) dans les douze œufs échantillonnés



La variabilité observée et les nombreux facteurs susceptibles d'influencer les concentrations en PCDD/Fs dans les œufs (ex. : nourrissage hors-sol ou pas, comportement alimentaire des animaux, homogénéité du sol, ...) questionne sur le caractère protecteur de l'OSol pour les élevages d'animaux et sur l'absence de cohérence entre l'OSol et l'OCont. Ces valeurs sont construites sur des indicateurs différents. Le seuil d'investigation de l'OSol fixé à 20 ng TEQ_{WHO-05}/kg de sol est très protecteur pour un scénario dans lequel des enfants ingèrent de la terre, mais elle ne priorise pas l'ingestion de denrées animales, en particulier les œufs, qui sont de très bons concentrateurs de PCDD/Fs. A l'opposé, l'OCont a fixé des teneurs maximales sur les graisses animales, avec des seuils très protecteurs. Pour cette raison, des animaux élevés sur des sols avec des concentrations inférieures à 20 ng TEQ_{WHO-05}/kg peuvent accumuler des concentrations en PCDD/Fs susceptibles de dépasser les valeurs de l'OCont lors de la consommation de leur viande ou de leurs produits (lait, œufs, etc.). Dans le contexte de la ferme de Rovéréaz, les concentrations en PCDD/Fs mesurées dans les sols (10 ng TEQ_{WHO-05}/kg) où est localisé le poulailler ne résultent pas un dépassement des teneurs maximales de l'OCont pour les œufs.

5 Recommandations

Dans l'évaluation du risque sanitaire, c'est surtout l'estimation de la dose interne qui est importante car elle ne considère pas seulement la concentration en PCDD/Fs, mais aussi la fréquence de consommation des denrées alimentaires et la durée de la période de consommation. L'ingestion occasionnelle d'œufs de concentrations plus élevées que les teneurs maximales fixées par l'OCont ne constitue donc pas un enjeu sanitaire per se. Compte tenu de la variabilité observée dans les concentrations des œufs et des nombreux paramètres influençant l'incorporation des dioxines, il est toutefois vivement recommandé de prendre (ou de continuer à prendre) des mesures pour prévenir une augmentation de ces concentrations et d'en assurer le suivi. Il est en particulier recommandé :

- Maintenir les poules sur les terrains les plus éloignés de la zone contaminée (idéalement des terrains remaniés régulièrement) ;
- Continuer à alimenter les poules hors-sol ;
- Conduire un nouvel échantillonnage (1 mesure moyenne sur 12 œufs) dans un délai de 3 à 6 mois, soit pendant la saison estivale lorsque les poules pourraient avoir un comportement favorisant l'ingestion de terre.

6 Références

- ADEME, INERIS, 2017. TROPHé : Synthèse des travaux expérimentaux menés sur le transfert des POPs dans les végétaux et les vers de compost. Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME).
- Arkenbout, A., Esbensen, K.H., 2017. Sampling, monitoring and source tracking of dioxins in the environment of an incinerator in the Netherlands. Presented at the Proceedings Eighth World Conference on Sampling and Blending, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne, Australia, pp. 117–124.
- DFI, 2016. RS 817.022.15 - Ordonnance du DFI du 16 décembre 2016 sur les teneurs maximales en contaminants (Ordonnance sur les contaminants, OCont).
- The European Commission, 2017. Règlement (UE) 2017/644 de la Commission du 5 avril 2017 portant fixation des méthodes de prélèvement et d'analyse d'échantillons à utiliser pour le contrôle des teneurs en dioxines, en PCB de type dioxine et en PCB autres que ceux de type dioxine de certaines denrées alimentaires et abrogeant le règlement (UE) n° 589/2014 (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE.), OJ L.

7 Annexes

Les documents techniques suivants sont accessibles sur demande auprès du Département santé, travail et environnement d'Unisanté :

1. Christelle Oltramare, Aurélie Berthet, David Vernez (2022) Essentiels : cucurbitacées et dioxines. Unisanté – Centre universitaire de médecine générale et santé publique, Département santé, travail et environnement – DSTE. 3 pages.
2. Rapport d'analyses de l'EMPA