



## Analyse des substances per- et polyfluoroalkylées (PFAS) dans les sédiments du Talent et de la Tioleire autour de la piste d'entraînement des sapeurs-pompiers de la Rama, Lausanne

**Rapport final 12.09.2024**



## Mentions légales

### Éditeur

Centre suisse d'écotoxicologie appliquée, 1015 Lausanne

### Sur mandat de

Dr. Fereidoun Khajehnouri, Ville de Lausanne, Service de l'eau, Division contrôle de l'eau, Route de Lavaux 295, 1095 Lutry

### Auteurs

Rébecca Beauvais, Carmen Casado, Benoît J.D. Ferrari      Centre suisse d'écotoxicologie appliquée  
EPFL-ENAC-IIE-GE  
Station 2  
CH-1015 Lausanne

### Contact

Rébecca Beauvais : rebecca.beauvais@centrecotox.ch

### Proposition de citation

Beauvais, R., Casado, C. et Ferrari, B.J.D. : Analyse des PFAS dans les sédiments du Talent et de la Tioleire autour de la piste d'entraînement des sapeurs-pompiers de la Rama, Lausanne. Centre suisse d'écotoxicologie appliquée, Lausanne.

**Photo de couverture : *Le Talent* - Rébecca Beauvais, Centre Ecotox**

Oekotoxzentrum | Eawag | Überlandstrasse 133 | 8600 Dübendorf | Schweiz  
T +41 (0)58 765 55 62 | info@oekotoxzentrum.ch | www.oekotoxzentrum.ch

Centre Ecotox | EPFL-ENAC-IIE-GE | Station 2 | CH-1015 Lausanne | Suisse  
T +41 (0)21 693 62 58 | info@centrecotox.ch | www.centrecotox.ch

## Résumé

L'utilisation de mousses extinctrices, connues pour contenir des substances per- et polyfluoroalkylées (PFAS), lors d'entraînements des sapeurs-pompiers peut conduire à la dispersion de ces polluants dans l'environnement, que ce soit dans les sols, les eaux ou les sédiments. À la suite de premières analyses sur les sols et les eaux de ruissellement et de surface du site de la Rama, qui ont montré la présence de PFAS, le Service de l'eau de la Ville de Lausanne a mandaté le Centre Ecotox afin de coordonner une étude sur la présence de PFAS dans les sédiments des deux rivières en contrebas de la colline du site d'entraînement des sapeurs-pompiers, le Talent et la Tioleire. Les analyses chimiques ont montré une différence amont-aval marquée, surtout pour le plus petit cours d'eau, la Tioleire, pour lequel l'évaluation du risque indique un risque important pour la vie benthique en aval de la Rama, avec notamment un sédiment de qualité mauvaise concernant le risque d'empoisonnement secondaire de la faune aquatique.

---



## Table des matières

1	Introduction.....	1
2	Matériel et méthodes.....	1
2.1	Sites d'étude.....	1
2.2	Protocole d'échantillonnage.....	2
2.3	Conditionnement des échantillons de retour au laboratoire.....	2
2.4	Teneur en carbonique organique et granulométrie.....	2
2.5	Analyse chimique des PFAS et évaluation du risque.....	2
2.6	Test de toxicité sur l'ostracode <i>Heterocypris incongruens</i> .....	3
3	Résultats et discussion.....	4
3.1	Propriétés des sédiments.....	4
3.2	Concentrations mesurées en PFAS.....	4
3.3	Évaluation du risque.....	5
3.4	Test de toxicité sur l'ostracode <i>Heterocypris incongruens</i> .....	6
4	Conclusions.....	7
5	Références bibliographiques.....	8
Annexe 1	Liste des substances per- et polyfluoroalkylées (PFAS) analysées (Eurofins SCITEC SA). .....	9
Annexe 2	Résultats d'analyses de Eurofins SCITEC SA. ....	10
Annexe 3	Relation entre les effets et le risque calculé par l'analyse chimique (PFOS). .....	19
Annexe 4	Relation entre les effets et la teneur en carbone organique total (COT). .....	20

---





# 1 Introduction

L'utilisation de mousses extinctrices, connues pour contenir des substances per- et polyfluoroalkylées (PFAS), lors d'entraînements des sapeurs-pompiers peut conduire à la dispersion de ces polluants dans l'environnement, que ce soit dans les sols, les eaux ou les sédiments. Lors d'études précédentes menées par le Service de l'eau, le Service de protection et sauvetage (SPSL) et l'Unité environnement de la Ville de Lausanne, en collaboration avec la Direction générale de l'environnement de l'État de Vaud, la présence de ces substances dites éternelles a été confirmée dans les sols (2 sites d'entraînement avec mousses à incendie) et les eaux (de surface, du réseau d'eaux claires et d'eaux usées, et de captage pour eau potable) du Centre de formation de la Rama ([Communiqué de presse](#)).

Dans ce projet, le Centre Ecotox a été mandaté par le Service de l'eau de la Ville de Lausanne pour apporter des informations complémentaires du niveau de pollution en PFAS autour du site de la Rama par l'analyse des sédiments des rivières en contrebas du site d'entraînement au feu, le Talent et la Tioleire. Il s'agit d'analyser les concentrations en PFAS (20 substances, dites européennes) dans les sédiments fins (particules < 2 mm) échantillonnés en période sèche, assurant l'accumulation de sédiments et une visibilité suffisante pour l'échantillonnage. Afin d'aider à l'interprétation des résultats, une analyse granulométrique et de la teneur en matière organique sont également envisagées. Le Centre Ecotox a par ailleurs effectué un bioessai sur ostracodes sur les mêmes échantillons de sédiments pour évaluer les effets écotoxicologiques potentiels sur les invertébrés benthiques.

## 2 Matériel et méthodes

### 2.1 Sites d'étude

En avril 2024, le Centre Ecotox et le Service de l'eau de la Ville de Lausanne se sont retrouvés sur le site de la Rama afin de procéder au repérage des sites pour l'échantillonnage. Deux sites ont été choisis dans la Tioleire, un site amont TIO1 et un site aval TIO2, ainsi que trois sites dans le Talent, un site amont TA1, un site aval TA2 et un site plus en aval, après la confluence avec la Tioleire, TA3 (*Fig. 1*).

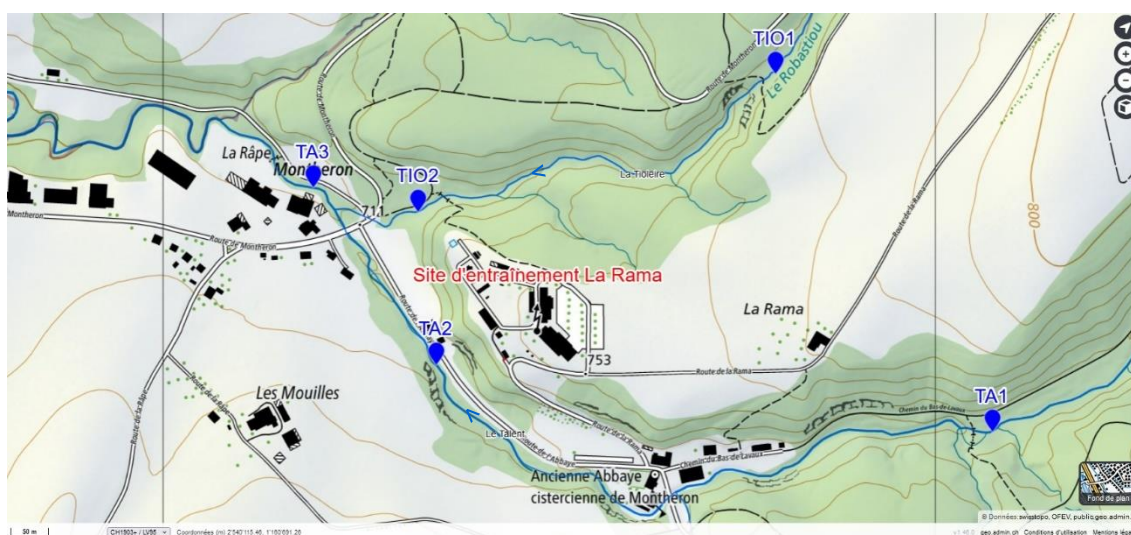


Fig. 1: Localisation du site d'entraînement de la Rama et des sites d'échantillonnage dans La Tioleire et Le Talent ([lien vers la carte](#)).

## 2.2 Protocole d'échantillonnage

L'échantillonnage des sédiments pour les 5 sites a été effectué un même jour, le 25 avril 2024 lors d'une journée froide et ensoleillée selon les recommandations du Centre Ecotox (Casado-Martinez et al. 2022). Afin de ne pas être influencé par la remise en suspension de sédiment en amont, l'échantillonnage s'est effectué de l'aval vers l'amont, en gardant du matériel propre pour les deux sites amonts (TIO1 et TA1).

Les PFAS étant des substances persistantes et utilisées dans de nombreux matériaux, des précautions ont été prises afin de limiter les risques de contamination croisée (Arcadis 2021, Impact-Concept 2023). Le matériel de prélèvement a été lavé soigneusement avec le détergent Liquinox® avant utilisation. Les récipients pour les échantillons étaient des pots en polypropylène. Un « blanc de terrain » a été préparé en utilisant le matériel de prélèvement et le même contenant pour le stockage avec du sable propre, que l'on suppose exempte de PFAS (Sigma-Aldrich, Buchs, CH).

## 2.3 Conditionnement des échantillons de retour au laboratoire

De retour au laboratoire, l'eau surnageante a été mise de côté puis le sédiment homogénéisé dans un contenant en acier inoxydable propre. Deux séries de matériels ont été utilisées pour chacun des cours d'eau et dans un sens amont/aval. Environ une moitié des sédiments a ensuite été remise dans le contenant et mise au réfrigérateur (4°C) (échantillon « 2 mm »). L'autre moitié a été tamisée à 63 µm (avec ajout d'eau surnageante au besoin) puis mise dans un autre contenant et placée au réfrigérateur (échantillon « 63 µm »). Le lendemain, l'eau surnageante restante pour les échantillons « 2 mm » a été récupérée ; un aliquot a été gardé dans des tubes à centrifuger (50 mL) et le reste jeté. Les échantillons « 2 mm » ont à nouveau été homogénéisés et un sous-échantillon (environ 20 mL) a été prélevé pour l'analyse de carbone organique et granulométrique ainsi que pour la réalisation d'un test écotoxicologique (voir ci-dessous). Pour les échantillons « 63 µm », l'eau surnageante a été récupérée 3 jours plus tard (tubes à centrifuger 50 mL) afin de laisser les plus fines particules sédimenter. Les tubes d'eaux surnageantes ont été placés au congélateur (-18°C) et sont disponibles pour analyse, si intérêt. Tous les échantillons de sédiments ont ainsi été mis au congélateur (-18°C). Seuls les échantillons « 2 mm » ont été envoyés au laboratoire pour analyse. Les échantillons « 63 µm » sont disponibles pour analyse, si intérêt.

## 2.4 Teneur en carbone organique et granulométrie

La teneur en carbone organique total (COT) a été mesurée au Laboratoire Central Environnemental de l'EPFL sur des échantillons « 2 mm » séchés au four à 60 °C et broyés. Pour la granulométrie, l'analyse a été effectuée au département F.-A. Forel des sciences de l'environnement et de l'eau de l'Université de Genève par diffraction laser (Coulter LS-100, Beckman). Ces paramètres permettent de comparer les propriétés intrinsèques des sédiments qui peuvent jouer sur la biodisponibilité des contaminants.

## 2.5 Analyse chimique des PFAS et évaluation du risque

L'analyse des PFAS sur les sédiments a été commandée chez Eurofins SCITEC SA<sup>1</sup>, Lausanne. Selon la littérature, parmi les PFAS les plus pertinents à étudier dans le cadre des sites contaminés par les entraînements de lutte contre le feu on trouve, en plus du PFOS, le PFHxS, le PFOA, le PFNA, le PFHpA, le PFHxA, le PFBS, le PFTrDA, le FOSA, le 6:2 FTSA et le 8:2 FTSA (East et al. 2021, Reinikainen et al. 2022). Ces substances font partie de la liste de 20

---

<sup>1</sup> Laboratoire faisant partie de la « Liste publique des laboratoires «OSol 2023/2024», pour les HAP et PCB, avec 75 % des échantillons pris en compte remplissant le critère de qualité dans les essais interlaboratoires ([lien vers plus d'informations](#)).



substances, dite « liste européenne » qui a été ciblée (*Annexe 1*). Les concentrations sont données en µg/kg poids sec (p. s.).

Le risque basé sur l'analyse chimique pour les sédiments est calculé en divisant la concentration mesurée pour chaque substance par le critère de qualité pour les sédiments (CQS) correspondant (Casado-Martinez et al. 2022). Ces CQS ont été dérivés selon la méthode du document technique de l'UE pour la détermination de normes de qualité environnementale (European Commission 2018). Pour la liste des PFAS ciblés dans les analyses un dossier de proposition de CQS est disponible uniquement pour le PFOS<sup>2</sup>, proposé comme substance indicatrice de la contamination des sédiments par les PFAS. Deux CQS différents sont proposés, chacun avec un objectif de protection différent. Un CQS de 2,7 µg/kg p. s. est proposé qui vise à protéger les organismes benthiques des effets directs. Ce CQS est dit préliminaire compte tenu de l'application d'un facteur de sécurité de 100 dû au manque de données disponibles sur les effets. Un CQS de 1,85 µg/kg p. s. vise à protéger les prédateurs d'un empoisonnement secondaire. Il est à noter qu'il s'agit de critères de qualité préliminaires. Avant comparaison avec le CQS qui vise à protéger de la toxicité directe les concentrations sont normalisées par la teneur en COT (voir ci-dessus) car la biodisponibilité du PFOS varie avec celle-ci dans les sédiments. La normalisation par la teneur en COT n'est pas nécessaire avant comparaison avec le CQS empoisonnement secondaire, puisque le développement des CQS empoisonnement secondaire (modèles de chaîne alimentaire simples) ne prend pas en compte ce paramètre.

La valeur du quotient de risque (RQ, Risk Quotient) permet de classer le sédiment selon sa qualité (*Tab. 1*).

*Tab. 1: Système de classification de la qualité du sédiment basé sur la comparaison avec le CQS (Casado-Martinez et al. 2022).*

Classification	Évaluation numérique selon SMG		Définition (RQ = MEC/CQS)	Signification
Très bonne qualité	0,8 - 1	La concentration mesurée dans le sédiment est au moins 10 fois plus faible que le critère de qualité (CQS)	RQ < 0,1	CQS respecté
Bonne qualité	0,6 - <0,8	La concentration mesurée dans le sédiment est de 1 à 10 fois plus faible que le critère de qualité (CQS)	0,1 ≤ RQ < 1	
Qualité moyenne	0,4 - <0,6	La concentration mesurée dans le sédiment est inférieure au double du critère de qualité (CQS)	1 ≤ RQ < 2	CQS dépassé
Qualité médiocre	0,2 - <0,4	La concentration mesurée dans le sédiment est inférieure à 10 fois le critère de qualité (CQS)	2 ≤ RQ < 10	
Mauvaise qualité	0 - <0,2	La concentration mesurée dans le sédiment est supérieure à 10 fois le critère de qualité (CQS)	RQ ≥ 10	

## 2.6 Test de toxicité sur l'ostracode *Heterocypris incongruens*

Nous avons, en plus des analyses chimiques, réalisé à l'interne un test écotoxicologique *in vivo* de toxicité générale avec les 5 sédiments tamisés à 2 mm. Ce test permet de détecter des effets sur la mortalité et la croissance de petits crustacés ostracodes (*Heterocypris incongruens*) après 6 jours de contact direct avec le sédiment.

<sup>2</sup> Ces critères de qualité ont été dérivés selon la méthode du document technique de l'UE pour la détermination de normes de qualité environnementale (European Commission 2018: Guidance No 27 - Deriving Environmental Quality Standards). Pour plus d'informations, le dossier est disponible sur le site internet du Centre Ecotox ([https://www.centreecotox.ch/media/195637/0\\_pfos\\_june-2022.pdf](https://www.centreecotox.ch/media/195637/0_pfos_june-2022.pdf)).

Le test a été réalisé selon le protocole expérimental normalisé ISO 14371 (ISO 2012) en utilisant l'Ostracodtoxkit F™ (MicroBioTests, Gand, Belgique). Brièvement, l'incubation des cystes d'ostracodes a commencé 52 h avant le test. Ils ont été placés dans une boîte de Pétri contenant 10 mL d'eau douce standard (dureté moyenne) et incubés à 25 °C sous éclairage continu. Après 48 h, les cystes éclos ont été nourris avec une solution de spiruline et incubés pendant 4 h supplémentaires. Le jour du lancement du test, des microplaques à 6 puits (1 microplaque de 6 puits par échantillon/contrôle) ont été remplies avec 2 mL d'eau douce standard et 1 mL de sédiment par puits. Ensuite, 2 mL d'algues ont été ajoutés (*Scenedesmus* spp., également préparé dans de l'eau douce standard). Comme sédiment témoin, le sédiment de référence fourni avec le kit a été utilisé. Enfin, 10 ostracodes ont été transférés dans chaque puits de la microplaque. Les microplaques ont été incubées dans l'obscurité à 25 °C pendant 6 jours. À la fin de la période d'exposition, les ostracodes survivants ont été récupérés et immobilisés avec une solution de Lugol. Ensuite, ils ont été comptés pour chaque puits (calcul du taux de mortalité) et transférés sur une lame de verre pour mesurer leur longueur à l'aide d'une loupe binoculaire (logiciel CellID, Olympus, Hambourg). La longueur a été convertie en croissance (différence entre la longueur à la fin et la longueur moyenne de 10 organismes au début de l'exposition).

Pour déterminer l'écotoxicité d'un échantillon, les effets observés sont comparés à des seuils de toxicité qui ont été définis en tenant compte de la variabilité naturelle des réponses des organismes aux caractéristiques intrinsèques des sédiments (granulométrie, contenu en carbone organique, etc.). Ces seuils sont de 20 % pour le taux de mortalité et 35 % pour l'inhibition de croissance par rapport au contrôle (Casado-Martinez et al. 2016).

### 3 Résultats et discussion

#### 3.1 Propriétés des sédiments

Les sédiments de la Tioleire étaient très similaires pour les sites amont et aval, avec 30 % de sédiments < 63 µm et 2 % COT. Les propriétés des sédiments le long du Talent sont plus variables, avec une proportion de sédiments < 63 µm comprise entre 44 et 57 % et une teneur en COT entre 2,8 à 4,1 %. L'échantillon TA2 prélevé en aval du site de la Rama dans le Talent montre la plus forte teneur en COT (4,1%) et le plus grand pourcentage de particules < 63 µm (Tab. 2). On observe une relation linéaire forte ( $R^2 = 92 \%$ , non montrée) entre les deux paramètres.

Tab. 2: Teneur en carbone organique total (COT) et taille des particules des sédiments.

Site	COT (%)	Taille médiane particules (µm)	% particules < 63 µm (%)
TA1	2,9	51,7	48
TA2	4,1	42,7	57
TA3	2,8	70,8	44
TIO1	2,2	87,9	33
TIO2	2,1	107	31

#### 3.2 Concentrations mesurées en PFAS

L'échantillon « blanc de terrain » n'a montré aucune contamination par les PFAS (limite de détection entre 0,1 et 1 µg/kg p. s.). Pour l'échantillon TA2, deux valeurs ont été fournies (contrôle qualité), nous avons calculé la moyenne. Le rapport du laboratoire d'analyse est en Annexe 2.

Dans un premier temps, il est à noter que seules 6 substances parmi les 20 analysées ont pu être quantifiées dans au moins un échantillon. Le *Tab. 3* présente les résultats pour ces dernières.

Alors qu'au maximum 3 substances (PFOS, PFDA et PFOA) ont été détectées dans les sédiments du Talent, jusque 6 (PFOS, PFDA, PFOA, PFHxA, PFHxS et PFPeA) l'ont été dans la Tioleire. Cela peut notamment s'expliquer par un débit et une taille moindre du cours d'eau, limitant la dilution et le transport en aval des particules contaminées dans la Tioleire. Une telle observation avait également été faite pour les analyses d'eau de surface. En période sèche, notamment, les concentrations étaient toujours inférieures à la limite de détection dans le Talent, tandis que des concentrations comprises entre 15 et 22 ng/l avaient été mesurées dans la Tioleire pour le PFOS, le PFOA, le PFHxS et le PFHxA (Impact-Concept 2023).

*Tab. 3: Concentrations ( $\mu\text{g}/\text{kg p. s.}$ ) brutes mesurées dans les différents sites et concentrations normalisées par la teneur en COT utiles pour l'évaluation des risques du PFOS et de la somme des PFAS.*

Substance / Site	TA1	TA2	TA3	TIO1	TIO2
PFOS (y compris ramifiés)	0,1	3,7	3,9	0,4	34,1
PFDA	0,1	0,4	0,7	0,3	0,5
PFOA (y compris ramifiés)	0,5	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,8
PFHxA	<LOQ	0,2	0,2	<LOQ	0,2
PFHxS (y compris ramifiés)	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,4
PFPeA	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0,2
$\Sigma$ PFAS	0,7	4,3	4,8	0,7	36,2
Concentrations normalisées à 1 % COT					
PFOS (y compris ramifiés)	0,03	0,91	1,4	0,2	16,0
$\Sigma$ PFAS	0,24	1,1	1,7	0,32	16,9

Les PFOS et les PFDA sont les substances mesurées dans tous les échantillons de sédiments du Talent et du Tioleire, avec des concentrations croissantes de l'amont vers l'aval (*Tab. 3*). Ce sont les deux des PFAS à chaînes longues et que l'on retrouve à la fois dans les sols et sédiments et les eaux (de surface, potables et souterraines) (European Commission et al. 2021).

Lors des études précédentes, pour les sols du site de la Rama, la somme des concentrations pour 11 PFAS étaient de 41  $\mu\text{g}/\text{kg p. s.}$  pour l'échantillon n° 2050-5. Cette dernière est proche des 36,1  $\mu\text{g}/\text{kg p. s.}$  retrouvés dans les sédiments de la Tioleire. Les substances présentes dans les échantillons de sédiments avaient été détectées dans les échantillons de sol. Contrairement aux sédiments, les sols contenaient également les PFAS suivants : PFBA, PFBS, PFHpA, PFNA, et PFUnA. Les propriétés spécifiques à chaque substance peuvent potentiellement expliquer leur présence ou absence selon le compartiment considéré. En particulier, la longueur de chaîne peut expliquer la répartition entre les compartiments, avec les plus longues chaînes, par exemple le PFDA, PFOS, plus adsorbés dans les sédiments (et sols) et accumulé dans les animaux, que les PFAS à chaîne courte (European Commission et al. 2021). On note cependant la persistance de PFAS à chaîne courte, tels que par exemple le PFBA et le PFHpA mesurés dans les sols de la Rama, qui seraient plus problématiques que les PFAS à longue chaîne PFOA et PFOS qu'ils ont remplacés (European Commission et al. 2021).

### 3.3 Évaluation du risque

L'évaluation du risque est effectuée selon le critère de qualité sédiment PFOS de 2,7  $\mu\text{g}/\text{kg p. s.}$  pour les concentrations normalisées à 1 % COT et selon le critère de qualité PFOS prenant

en compte le risque d’empoisonnement secondaire de 1,85 µg/kg p. s. (concentrations non normalisées) (Tab. 4).

Tab. 4: Quotients de risque et classification (SQC préliminaire) de la qualité des sédiments selon le Tab. 1.

Substance(s) / Site	TA1	TA2	TA3	TIO1	TIO2
RQ - PFOS (comp. ramifiés)	0,01	0,33	0,52	0,07	5,91
RQ - PFOS empois. secondaire	0,05	1,97	2,11	0,22	18,4
RQ - Σ PFAS	0,09	0,33	0,64	0,12	6,27
RQ - Σ PFAS empois. secondaire	0,38	2,24	2,59	0,38	19,6

Pour le PFOS, un quotient de risque maximal de 5,91 (concentration de 34,1 µg/kg p. s.) a été calculé pour le site TIO2 classant le sédiment en qualité médiocre (orange). Si l’on considère le critère de qualité sédiment destiné à protéger les prédateurs supérieurs d’un empoisonnement secondaire, le sédiment est déclassé en qualité mauvaise (rouge) (Tab. 4).

Les deux sites dans le Talent en aval direct (TA2) mais aussi plus en aval (TA3), avec des concentrations pour les PFOS de 3,7 et 3,9 µg/kg p. s., sont classés comme de qualité moyenne et médiocre mais uniquement selon le critère de qualité sédiment destiné à protéger les prédateurs supérieurs d’un empoisonnement secondaire.

Les deux sites en amont de la RAMA (TIO1 et TA1) sont de très bonne (bleu) ou de bonne (vert) qualité selon l’objectif de protection.

Enfin, en raison de l’absence de critères de qualité sédiments pour d’autres PFAS, une évaluation du risque pour la somme des PFAS peut être effectuée à l’aide du critère de qualité sédiments pour le PFOS (Conder et al. 2020), en supposant que le PFOS est le PFAS le plus toxique (Zodrow et al. 2020). Dans ce cas, le résultat de l’évaluation des risques est le même, qu’il s’agisse du PFOS ou de la somme des PFAS quantifiés, sauf pour le site TA2 pour lequel, la qualité est déclassée de moyenne à médiocre.

Sur le terrain, au niveau du site TIO2, nous avons eu la chance d’observer des larves de salamandre. Cette observation pourrait rassurer sur la qualité de l’eau mais le compartiment benthique contaminé pourrait libérer des PFAS lors d’évènements extrêmes ou de remobilisation des particules et induire des effets aigus sur les populations en place. Des données récentes concernant des têtards supposeraient leur sensibilité au PFOS lors d’études en microcosmes avec des sédiments dopés (Flynn et al. 2021, Foguth et al. 2019). Les études ne se montraient cependant pas assez fiables pour être prises en compte dans la dérivation d’un critère de qualité (Casado-Martinez 2020).

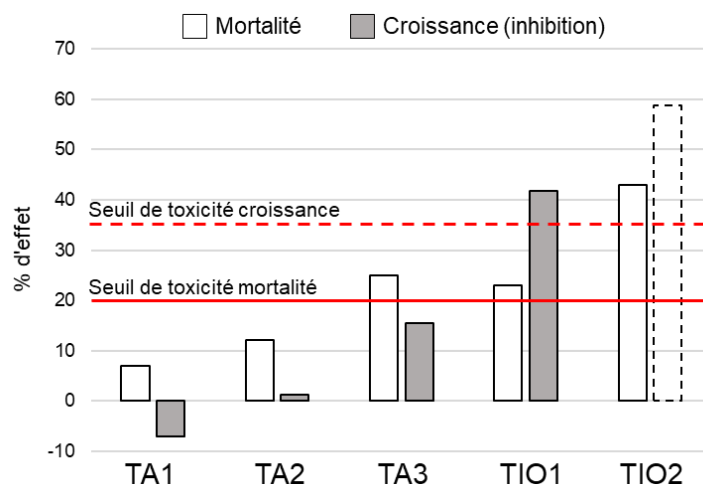
### 3.4 Test de toxicité sur l’ostracode *Heterocypris incongruens*

Étant donné les incertitudes liées à l’évaluation des risques pour les sédiments, les dépassements des critères de qualité sédiments ne sont considérés que comme des valeurs de screening. Les dépassements devraient déclencher des études supplémentaires pour confirmer les risques potentiels. Bien que non inclus dans le mandat, le Centre Ecotox a effectué un bioessai sur les mêmes échantillons de sédiments afin de tester leur dangerosité pour les organismes benthiques.

Les critères de validité pour le test ont été respectés avec une mortalité chez les organismes contrôlés inférieure à 20 % (ici 3 %) et la longueur moyenne des ostracodes dans le sédiment de contrôle au moins 1,5 fois supérieure à la longueur moyenne des organismes au début de l’essai (ici 3,5x).

Comme pour l'évaluation des risques sur la base des analyses chimiques, on observe une baisse de qualité écotoxicologique de l'amont vers l'aval pour les deux rivières et une qualité moindre pour la Tioleire (Fig. 2).

Fig. 2 : Résultats du bioessai avec l'ostracode *H. incongruens*. Les seuils de toxicité pour la mortalité (20 %) et pour l'inhibition de la croissance (35 %) sont indiqués.



Le bioessai indique notamment une mortalité supérieure au seuil de toxicité de 20 % dans le site aval de la confluence TA/TIO (TA3) et dans les deux sites TIO. Pour TIO2, la mortalité atteint une forte valeur de 43 % relativisant l'utilisation du critère croissance pour l'évaluation (seuil de 30 % dans la norme ISO). La plus forte mortalité a donc été observée pour le sédiment TIO2 montrant la plus forte concentration en PFOS (et somme de PFAS). Si l'on met en relation les effets observés avec les quotients de risques, nous n'avons pas une relation linéaire nette ( $R^2 = 0,3 \%$ ) pour la croissance, mais pour la mortalité, la relation atteint un  $R^2$  de 74 % (Annexe 3). Pour l'inhibition de croissance, notamment, les effets ne peuvent être attribués aux niveaux de PFAS, du moins pas aux deux concentrations les plus faibles. Le taux de mortalité pourrait ainsi s'avérer sensible pour détecter des effets en lien avec la présence de PFAS dans des échantillons de sédiments complexes.

Enfin, il est à noter que pour une teneur en COT et % < 63  $\mu\text{m}$  similaires, TIO2 présentait une mortalité ~2 fois supérieure à TIO1. Les relations entre les effets et la COT ne sont pas linéaires (Annexe 4), supposant qu'un effet toxique s'ajoute à un effet cofacteur connu de la taille des particules (qui, dans ce projet, corrèle avec la COT) (Casado-Martinez et al. 2016). Les propriétés intrinsèques de TIO2 ainsi n'expliquent pas la forte mortalité induite. À notre connaissance, aucune autre source de pollution potentielle ne se trouvent entre TIO1 et TIO2 à part le site de la Rama.

## 4 Conclusions

Dans ce projet, nous avons étudié la qualité écotoxicologique par le biais d'analyses chimiques et de bioessais dans un contexte de pollution suspectée aux PFAS. Les analyses chimiques ont montré une différence amont-aval marquée, surtout pour le plus petit cours d'eau, la Tioleire, pour lequel l'évaluation du risque indique un risque important pour la vie benthique en aval de la Rama, avec notamment un sédiment de qualité mauvaise concernant le risque d'empoisonnement secondaire de la faune aquatique. Le CQS pour le PFOS protégeant les organismes benthiques est encore à considérer comme préliminaire en raison du manque de données disponibles sur les effets. Les bioessais ont cependant indiqué un danger pour les organismes benthiques dans une même direction.

Avec ces résultats, et en continuité avec les études menées précédemment par la Ville de Lausanne, nous ne pouvons pas exclure un impact du site d'entraînement de la Rama sur la qualité des sédiments du Talent et de la Tioleire concernant les PFAS. Nous conseillons d'approfondir l'investigation des sites par le biais d'une batterie de bioessais et une analyse des concentrations en PFAS dans les invertébrés prélevés sur le terrain. Ces approches permettent d'évaluer la biodisponibilité de ces polluants éternels, c'est-à-dire dans quelle mesure l'exposition entraîne un effet biologique.

## 5 Références bibliographiques

- Arcadis 2021: Bases de décision pour le traitement des sites pollués par des PFAS en Suisse. Rapport d'experts réalisé sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV). Arcadis Schweiz AG.
- Casado-Martinez MC, Burga-Perez KF, Bebon R, Ferard JF, Vermeirssen EL, Werner I (2016) The sediment-contact test using the ostracod *Heterocypris incongruens*: Effect of fine sediments and determination of toxicity thresholds. *Chemosphere* 151, 220-4. 10.1016/j.chemosphere.2016.01.126
- Casado-Martinez MC 2020: Proposal by the Ecotox Centre for: Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) Lausanne (CH): Swiss Centre for Applied Ecotoxicology; 47 pp.
- Casado-Martinez MC, Wildi M, Ferrari BJD, Werner I 2022: Stratégie d'évaluation de la qualité des sédiments en Suisse. Étude élaboré sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement. Centre suisse d'écotoxicologie appliquée, Lausanne.
- Conder J, Arblaster J, Larson E, Brown J, Higgins C 2020: Guidance for assessing the ecological risks of PFASs to threatened and endangered species at aqueous film forming foam-impacted sites. SERDP Contract Report ER18-1614.
- East A, Anderson RH, Salice CJ (2021) Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Surface Water Near US Air Force Bases: Prioritizing Individual Chemicals and Mixtures for Toxicity Testing and Risk Assessment. *Environ Toxicol Chem* 40, 859-870. 10.1002/etc.4893
- European Commission 2018: Guidance No 27 - Deriving Environmental Quality Standards
- European Commission, Joint Research C, Pretto P, Porcel-Rodriguez E, Marinov D, Niegowska M, Ceriani L, Lettieri T (2021): Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) of possible concern in the aquatic environment. Publications Office
- Flynn RW, Iacchetta M, de Perre C, Lee L, Sepúlveda MS, Hoverman JT (2021) Chronic Per-/Polyfluoroalkyl Substance Exposure Under Environmentally Relevant Conditions Delays Development in Northern Leopard Frog (*Rana pipiens*) Larvae. *Environmental Toxicology and Chemistry* 40, 711-716. <https://doi.org/10.1002/etc.4690>
- Foguth RM, Flynn RW, de Perre C, Iacchetta M, Lee LS, Sepúlveda MS, Cannon JR (2019) Developmental exposure to perfluorooctane sulfonate (PFOS) and perfluorooctanoic acid (PFOA) selectively decreases brain dopamine levels in Northern leopard frogs. *Toxicology and Applied Pharmacology* 377, 114623. <https://doi.org/10.1016/j.taap.2019.114623>
- Impact-Concept 2023: Evaluation de la pollution des sols et des eaux par les composé alkylés per- et polyfluorés (PFAS) sur le site du Centre de formation de La Rama et alentours. Impact Concept SA.
- ISO (2012) ISO 14371:2012 Qualité de l'eau — Détermination de la toxicité des sédiments d'eau douce envers *Heterocypris incongruens* (Crustacea, Ostracoda). Organisation internationale de normalisation
- Reinikainen J, Perkola N, Aysto L, Sorvari J (2022) The occurrence, distribution, and risks of PFAS at AFFF-impacted sites in Finland. *Sci Total Environ* 829, 154237. 10.1016/j.scitotenv.2022.154237
- Zodrow JM, Frenchmeyer M, Dally K, Osborn E, Anderson P, Divine C 2020: Per- and polyfluoroalkyl substances ecological risk-based screening levels. SERDP Contract Report ER18-1653.



Annexe 1 Liste des substances per- et polyfluoroalkylées (PFAS) analysées (Eurofins SCITEC SA).

PFAS	LOQ [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ ]	CAS
PFBA	0,1	375-22-4
PFPeA	0,1	2706-90-3
PFHxA	0,1	307-24-4
PFHpA	0,1	375-85-9
PFOA	0,1	335-67-1
PFNA	0,1	375-95-1
PFDA	0,1	335-76-2
PFUnA	0,1	2058-94-8
PFDoDA	/	307-55-1
PFTTrA	/	72629-94-8
PFTA	/	376-06-7
PFBS	0,1	29420-49-3
PFPeS	0,1	630402-22-1
PFHxS	0,1	3871-99-6
PFHpS	0,1	375-92-8
PFOS	0,1	2795-39-3
PFNS	/	68259-12-1
PFDS	/	335-77-3
PFUnDS	/	749786-16-1
PFDoDS	/	79780-39-5
PFTTrS	/	791563-89-8
PFOSA	1	754-91-6
7H-PFHpA	1	1546-95-8
PFOA-diméthyl	1	172155-07-6
2H,2H-PFDA	1	27854-31-5
2H,2H,3H,3H-PFUnA	1	34598-33-9
1H,1H,2H,2H-PFHxS	1	757124-72-4
1H,1H,2H,2H-PFOS	1	27619-97-2
1H,1H,2H,2H-PFDS	1	39108-34-4
Capstone A	1	80475-32-7
Capstone B	50	34455-29-3
HFPO-DA ou GenX	0,5	13252-13-6

Annexe 2 Résultats d'analyses de Eurofins SCITEC SA.



## Rapport d'analyses (par échantillon) PFAS - Rama Projet N° P24-3193, version 1

EPFL-ENAC-IIE-GE  
Station 2 (GR B0 420)  
1015 Lausanne  
SUISSE

[Cet espace est laissé intentionnellement vide pour commentaires]

Rapport préparé par:

  
Sylvia Maître  
Cheffe de projet  
smaitre@scitec-research.com

Ce rapport ne peut être reproduit, partiellement ou dans sa totalité, sans l'autorisation écrite d'Eurofins Scitec. Ce document correspond à l'intégralité de la commande. Il ne concerne que les objets tels que reçus soumis à l'analyse.

N° échantillon : P24-3193.001  
 Réf. client : TA1

Date & heure d'échantillonnage : ---  
 Date de réception : 31.05.2024  
 Matrice : Terre

**PFAS**

Paramètre	Résultat	Incertitude <sup>a</sup>	Unité	Dilution	LLQ <sup>b</sup>	Date extraction	Date analyse	Méthode	Instrument	Qualifiants <sup>c</sup>	Site <sup>d</sup>
PFBA	<0,1	---	µg/kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFBS	<0,1	---	µg/kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFDA	0,1	±0,04	µg/kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFDoDA	<0,5	---	µg/kg	1	0,5	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L
PFDoDS	<0,5	---	µg/kg	1	0,5	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L
PFDS	<0,1	---	µg/kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L
PFHpA	<0,1	---	µg/kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFHpS	<0,1	---	µg/kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFHxA	<0,1	---	µg/kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFHxS y compris ramifiés	<0,1	---	µg/kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFNA	<0,1	---	µg/kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFNS	<0,1	---	µg/kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L
PFOA y compris ramifiés	0,5	±0,1	µg/kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFOS y compris ramifiés	0,1	±0,03	µg/kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFPeA	<0,1	---	µg/kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFPeS	<0,1	---	µg/kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFTrDA	<0,5	---	µg/kg	1	0,5	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L
PFTrS	<1,0	---	µg/kg	1	1,0	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L
PFUnDA	<0,5	---	µg/kg	1	0,5	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L
PFUnDS	<0,5	---	µg/kg	1	0,5	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L

N° échantillon : P24-3193.002  
 Réf. client : TA2

Date & heure d'échantillonnage : ---  
 Date de réception : 31.05.2024  
 Matrice : Terre

**PFAS**

Paramètre	Résultat	Incertitude <sup>a</sup>	Unité	Dilution	LLQ <sup>b</sup>	Date extraction	Date analyse	Méthode	Instrument	Qualifiants <sup>c</sup>	Site <sup>d</sup>
PFBA	<0,1/<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFBS	<0,1/<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFDA	0,4/0,3	±0,1	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFDoDA	<0,5/<0,5	---	µg/Kg	1	0,5	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L
PFDoDS	<0,5	---	µg/Kg	1	0,5	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L
PFDS	<0,1/<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L
PFHpA	<0,1/<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFHpS	<0,1/<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFHxA	0,1/0,2	±0,04	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFHxS y compris ramifiés	<0,1/<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFNA	<0,1/<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFNS	<0,1/<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L
PFOA y compris ramifiés	<0,1/<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFOS y compris ramifiés	3,7/3,6	±1,0	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFPeA	<0,1/<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFPeS	<0,1/<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFTrDA	<0,5/<0,5	---	µg/Kg	1	0,5	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L
PFTS	<1,0/<1,0	---	µg/Kg	1	1,0	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L
PFUnDA	<0,5/<0,5	---	µg/Kg	1	0,5	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L
PFUnDS	<0,5/<0,5	---	µg/Kg	1	0,5	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L

N° échantillon : P24-3193.003  
 Réf. client : TA3

Date & heure d'échantillonnage : ---  
 Date de réception : 31.05.2024  
 Matrice : Terre

**PFAS**

Paramètre	Résultat	Incertitude <sup>a</sup>	Unité	Dilution	LLQ <sup>b</sup>	Date extraction	Date analyse	Méthode	Instrument	Qualifiants <sup>c</sup>	Site <sup>d</sup>
PFBA	<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFBS	<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFDA	0,7	±0,2	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFDoDA	<0,5	---	µg/Kg	1	0,5	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L
PFDoDS	<0,5	---	µg/Kg	1	0,5	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L
PFDS	<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L
PFHpA	<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFHpS	<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFHxA	0,2	±0,05	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFHxS y compris ramifiés	<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFNA	<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFNS	<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L
PFOA y compris ramifiés	<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFOS y compris ramifiés	3,9	±1,0	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFPeA	<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFPeS	<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFTnDA	<0,5	---	µg/Kg	1	0,5	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L
PFTnS	<1,0	---	µg/Kg	1	1,0	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L
PFUnDA	<0,5	---	µg/Kg	1	0,5	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L
PFUnDS	<0,5	---	µg/Kg	1	0,5	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L



N° échantillon : P24-3193.004  
 Réf. client : TIO1

Date & heure d'échantillonnage : ---  
 Date de réception : 31.05.2024  
 Matrice : Terre

**PFAS**

Paramètre	Résultat	Incertitude <sup>a</sup>	Unité	Dilution	LLQ <sup>b</sup>	Date extraction	Date analyse	Méthode	Instrument	Qualifiants <sup>c</sup>	Site <sup>d</sup>
PFBA	<0.1	---	µg/Kg	1	0.1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFBS	<0.1	---	µg/Kg	1	0.1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFDA	0.3	±0.1	µg/Kg	1	0.1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFDoDA	<0.5	---	µg/Kg	1	0.5	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L
PFDoDS	<0.5	---	µg/Kg	1	0.5	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L
PFDS	<0.1	---	µg/Kg	1	0.1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L
PFHpA	<0.1	---	µg/Kg	1	0.1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFHpS	<0.1	---	µg/Kg	1	0.1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFHxA	<0.1	---	µg/Kg	1	0.1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFHxS y compris ramifiés	<0.1	---	µg/Kg	1	0.1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFNA	<0.1	---	µg/Kg	1	0.1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFNS	<0.1	---	µg/Kg	1	0.1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L
PFOA y compris ramifiés	<0.1	---	µg/Kg	1	0.1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFOS y compris ramifiés	0.4	±0.10	µg/Kg	1	0.1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFPeA	<0.1	---	µg/Kg	1	0.1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFPeS	<0.1	---	µg/Kg	1	0.1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFTrDA	<0.5	---	µg/Kg	1	0.5	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L
PFTrS	<1.0	---	µg/Kg	1	1.0	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L
PFUnDA	<0.5	---	µg/Kg	1	0.5	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L
PFUnDS	<0.5	---	µg/Kg	1	0.5	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L

N° échantillon : P24-3193.005  
 Réf. client : TIO2

Date & heure d'échantillonnage : ---  
 Date de réception : 31.05.2024  
 Matrice : Terre

**PFAS**

Paramètre	Résultat	Incertitude <sup>a</sup>	Unité	Dilution	LLQ <sup>b</sup>	Date extraction	Date analyse	Méthode	Instrument	Qualifiants <sup>c</sup>	Site <sup>d</sup>
PFBA	<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFBS	<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFDA	0,5	±0,1	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFDoDA	<0,5	---	µg/Kg	1	0,5	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L
PFDoDS	<0,5	---	µg/Kg	1	0,5	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L
PFDS	<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L
PFHpA	<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFHpS	<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFHxA	0,2	±0,05	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFHxS y compris ramifiés	0,4	±0,08	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFNA	<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFNS	<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L
PFOA y compris ramifiés	0,8	±0,2	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFOS y compris ramifiés	34,1	±9,1	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFPeA	0,2	±0,03	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFPeS	<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFTrDA	<0,5	---	µg/Kg	1	0,5	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L
PFTrS	<1,0	---	µg/Kg	1	1,0	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L
PFUnDA	<0,5	---	µg/Kg	1	0,5	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L
PFUnDS	<0,5	---	µg/Kg	1	0,5	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L

N° échantillon : P24-3193.006  
 Réf. client : BLK

Date & heure d'échantillonnage : ---  
 Date de réception : 31.05.2024  
 Matrice : Terre

PFAS

Paramètre	Résultat	Incertitude <sup>a</sup>	Unité	Dilution	LLQ <sup>b</sup>	Date extraction	Date analyse	Méthode	Instrument	Qualifiants <sup>c</sup>	Site <sup>d</sup>
PFBA	<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFBS	<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFDA	<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFDoDA	<0,5	---	µg/Kg	1	0,5	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L
PFDoDS	<0,5	---	µg/Kg	1	0,5	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L
PFDS	<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L
PFHpA	<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFHpS	<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFHxA	<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFHxS y compris ramifiés	<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFNA	<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFNS	<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L
PFOA y compris ramifiés	<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFOS y compris ramifiés	<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFPeA	<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFPeS	<0,1	---	µg/Kg	1	0,1	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	1	L
PFTrDA	<0,5	---	µg/Kg	1	0,5	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L
PFTrS	<1,0	---	µg/Kg	1	1,0	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L
PFUnDA	<0,5	---	µg/Kg	1	0,5	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L
PFUnDS	<0,5	---	µg/Kg	1	0,5	10.06.2024	17.06.2024	DIN 38407-42	LCX2-TQ8060	---	L

<sup>1</sup> L'incertitude est l'incertitude moyenne sur la plage de quantification

<sup>2</sup> Nomenclature des qualifiants

1 – Analyse domaine accrédité ISO 17025

2 – Analyse conforme aux standards NELAC

3 – Analyse non certifiable par NELAC

4 – Analyse sous-traitée

5 – Présent dans le blanc d'extraction

6 – Critère de recovery invalide

7 – Résultat non conforme

8 – Container inadéquat

<sup>3</sup> Limite inférieure de quantification

9 – Agent de conservation inadéquat

10 – Intégrité de l'échantillon incertaine

11 – Température échant. inadéquate

12,13,14 – Holding time excédé

<sup>4</sup> L=Lausanne, D=Delémont

15 – CV duplicat invalide

16 – LOQ réhaussée suite à un effet matrice

17 – Analyse autorisée Swissmedic

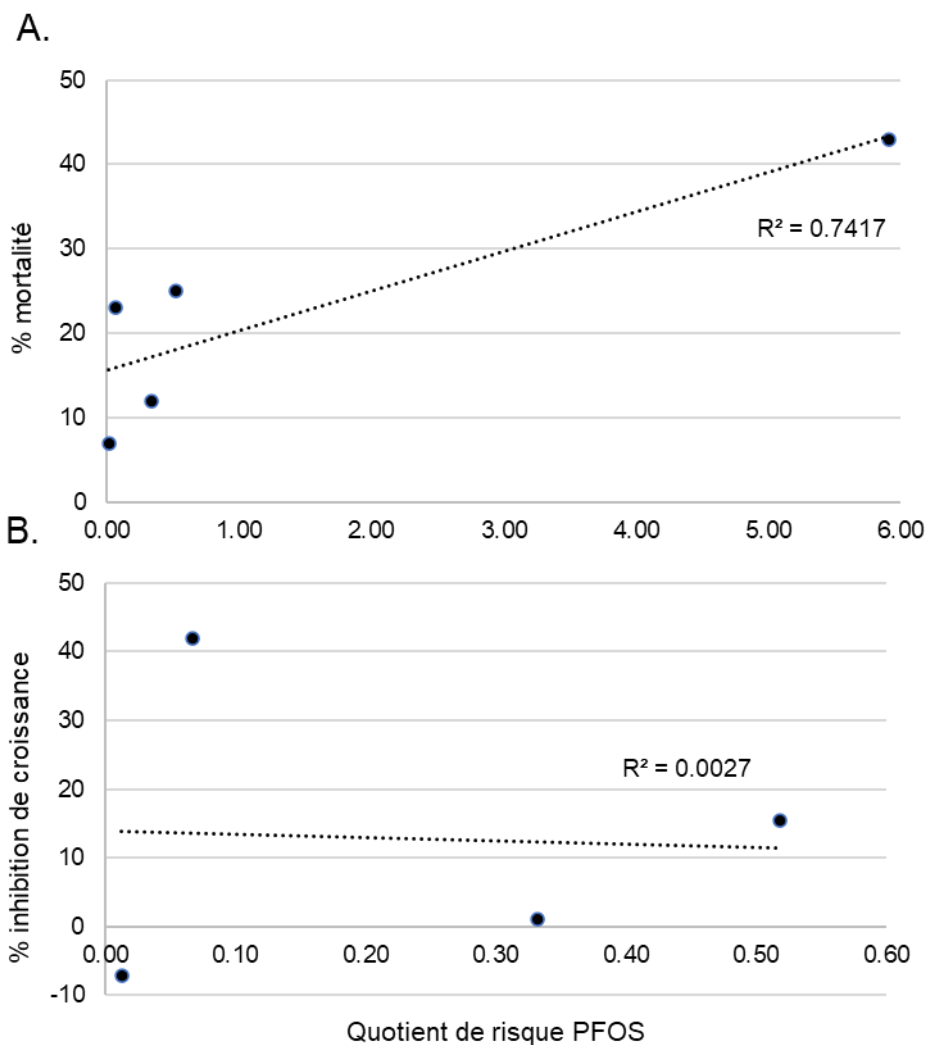
18 – Échantillonné par Eurofins Scitec

Qualifiants 5, 7 à 14 : déviations pouvant affecter la justesse du résultat.

Qualifiants 6, 15 et 16 : effets de matrice possibles.

Qualifiant 18 : Eurofins Scitec n'est pas accrédité pour l'échantillonnage.

Annexe 3 Relation entre les effets et le risque calculé par l'analyse chimique (PFOS). Pour B, l'axe des abscisses est réduit car seuls les 4 sites avec une mortalité inférieure à 30 % sont pris en compte (quotients de risque entre 0,01 et 0,52).



Annexe 4 Relation entre les effets et la teneur en carbone organique total (COT).

