

MICROPOLLUANTS DANS LES EAUX DU LÉMAN

MICROPOLLUTANTS IN LAKE GENEVA WATERS

CAMPAGNE 2020

Cécile PLAGELLAT

DIRECTION GÉNÉRALE DE L'ENVIRONNEMENT – DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL, URBAIN ET RURAL

Division Protection des eaux (PRE) – Chimie des Eaux et PCAM

Chemin des Boveresses 155 -CP33 CH-1066 EPALINGES

Adrien ORIEZ

SECRETARIAT DE LA COMMISSION INTERNATIONALE POUR LA PROTECTION DES EAUX DU LÉMAN

Agroscope – Changins – Bâtiment DC, CP 1080, CH – 1260 NYON 1

Nathalie CHEVRE

FACULTÉ DES GÉOSCIENCES ET DE L'ENVIRONNEMENT

Université de Lausanne, Géopolis 3630, CH-1015 LAUSANNE

RÉSUMÉ

La surveillance des micropolluants dans les eaux du Léman est un enjeu majeur de la CIPEL et comprend entre autres le suivi de pesticides, de résidus médicamenteux et des éléments trace métalliques (totaux et dissous) depuis la surface jusqu'au fond. De plus, quelques autres composés sont suivis et rajoutés selon les problématiques rencontrés dans les bassins versant du lac ; les anticorrosifs benzotriazole et tolyltriazole très présents dans les eaux usées, des produits utilisés en industrie chimique comme la benzidine et son métabolite le 4-amino-biphényl, le 1,4-dioxane et le méthyl tert-butyl éther (MTBE).

Ce programme de surveillance de la qualité de l'eau du Léman a une finalité essentiellement de "contrôle de la ressource en eau de boisson", pour permettre l'alimentation en eau potable de plus de 900'000 personnes.

Les teneurs en pesticides et en métaux satisfont aux exigences requises pour l'environnement ainsi que pour les eaux de boisson au sens des législations suisse et française.

Pour les résidus de médicaments, seules l'azithromycine, la clarithromycine et le diclofénac ont une valeur seuil définie dans la législation suisse. Leur présence dans l'environnement n'est toutefois pas souhaitable, notamment dans des eaux destinées à l'alimentation en eau potable, comme celles du Léman.

ABSTRACT

Surveillance of micropollutants in Lake Geneva's waters is a critical issue in the 2001-2020 action plan and includes the monitoring of pesticides, drug residues, and metals (total and dissolved) from the surface to the bottom. Some other compounds such as benzotriazole and tolyltriazole present in wastewaters, benzidine and its metabolite 4-amino-biphenyl, 1,4-dioxane and MTBE are also surveyed.

This water-quality monitoring program for Lake Geneva essentially aims to "monitor the drinking water resource" to supply drinking water to more than 900'000 people.

The pesticide and metal levels satisfy both the environmental and drinking water requirements as defined by Swiss and French legislations.

Today only three pharmaceuticals, azithromycine, clarithromycine and diclofenac, have a water quality criteria defined in the swiss law. Nonetheless, their presence in the environment is not desirable, notably in waterbody that supply drinking water such as Lake Geneva.

1. INTRODUCTION

La présence de micropolluants dans les eaux du bassin versant lémanique et du lac est une préoccupation majeure de la CIPEL. Une veille consacrée aux micropolluants dans les eaux du Léman est nécessaire afin de garantir et pérenniser l'usage des eaux du lac pour l'alimentation en eau potable moyennant un traitement réputé simple. Chaque année, la CIPEL surveille la présence des micropolluants dans les eaux du lac grâce à un programme d'analyses qu'elle actualise régulièrement en fonction de l'évolution de sa connaissance de la provenance de certaines substances et de leurs effets sur les milieux aquatiques ou la santé humaine.

2. ÉCHANTILLONNAGE

Pour la surveillance des teneurs en métaux et en pesticides, des échantillons à quatre profondeurs sont prélevés deux fois par année au centre du Léman, à la station SHL2 (figure 1 et tableau 1), au printemps, après le brassage des eaux et en automne, en période de stratification. En 2020, le brassage des eaux a atteint la profondeur de 100 m contre 135 m en 2019. En raison de la Covid-19 et des mesures sanitaires, le premier échantillonnage n'a pu avoir lieu que le 2 juin 2020 pour les pesticides. Les autres années, le premier échantillonnage avait lieu en mars.

Les résidus médicamenteux sont prélevés trois fois par année (hiver, début de l'été et automne) à 2 profondeurs.

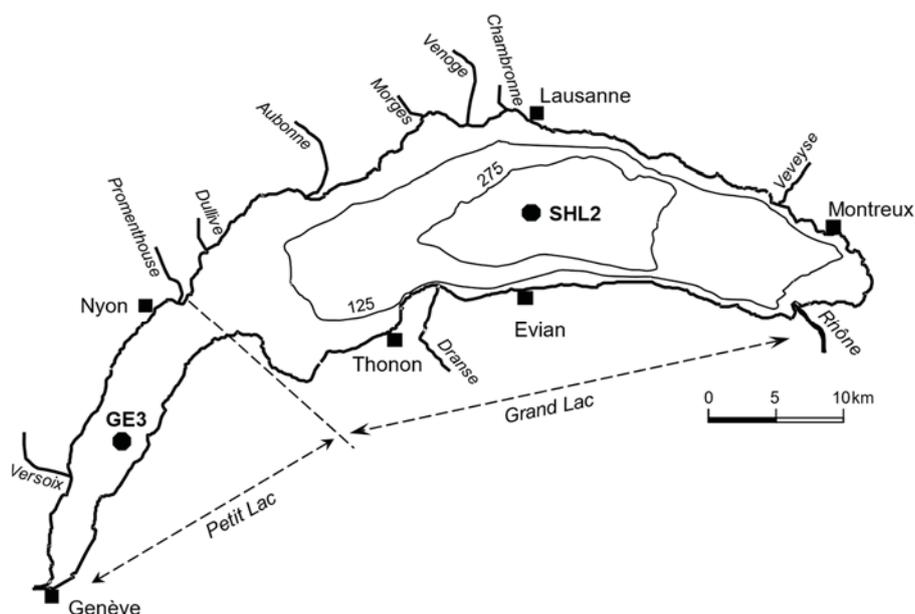


Figure 1 : Situation du point de prélèvement - station SHL2.

Figure 1 : Location of the sampling site - SHL2 station.

Tableau 1 : Dates des campagnes de prélèvements pour 2020.

Table 1 : Dates of sampling programme for 2020.

SUBSTANCES	PROFONDEURS	JANV.	JUIN	SEPT.
Éléments trace métalliques (totaux et dissous)	Mélange 1:1 des niveaux 1 + 30 m et 200 + 305 m		X1	X
Manganèse	275, 300, 305 et 309 m		X1	X
Pesticides et métabolites	1, 30, 100 et 305 m		X1	X
Résidus de produits pharmaceutiques	1, 15, 100 et 305 m	X	X	X
1,4-dioxane, benzidine, le 4-aminobiphenyle, benzotriazole, tolyltriazole et MTBE2	15, 100 m	X	X	

3. MÉTHODOLOGIE

3.1 ANALYSES CHIMIQUES

Éléments trace métalliques

Les analyses des éléments trace métalliques ont été centralisées dans un même laboratoire afin d'avoir les limites de quantifications adaptées. Ainsi, les analyses d'éléments trace métalliques totaux, anciennement effectuées par le SCAV de Genève, ont été reprises par le laboratoire de la protection des eaux et de l'environnement du service de l'écologie de l'eau du canton de Genève (SECOE) en 2020. La méthode utilisée par le SECOE permet l'analyse de 26 éléments traces métalliques (Tableau en Annexe 1). Depuis 2014, ce laboratoire analyse pour la CIPEL certains éléments trace métalliques dissous. Le dosage s'effectue par ICP-MS. L'analyse du chrome représente la somme du chrome III et du chrome VI qui ne sont pas différenciés par ICP-MS. Le mercure, anciennement dosé par spectrométrie d'absorption atomique en vapeur froide, est depuis 2017 dosé par spectrométrie de fluorescence atomique en vapeur froide.

Pesticides

La recherche de pesticides est effectuée par le laboratoire SCITEC à Lausanne depuis 2020. Ce changement a été effectué pour que les analyses sur les eaux du Rhône et du Léman soient faites par le même laboratoire. Les eaux brutes sont pré-concentrées à partir d'un échantillon de 500 mL d'eau passé sur une phase solide (SPE offline). Après élution des cartouches SPE, l'extrait est analysé par chromatographie en phase liquide couplée à un détecteur de spectrométrie de masse en tandem (LC-MS/MS). La liste des substances recherchées comprend 144 molécules d'intérêt avec une limite de quantification de 0.001 µg/L lorsque c'était possible (Tableau en Annexe 2). Ceci représente une diminution du nombre de substances analysées par rapport aux années précédentes, mais toutes les substances détectées régulièrement sont représentées, à l'exception des métabolites du métolachlor.

Le glyphosate, le glufoniate et l'acide aminométhylphosphonique (AMPA) ont été ajoutés dans le suivi depuis 2015. Les analyses sont effectuées par le laboratoire SCITEC par chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse (LC-MS/MS) après dérivatisation puis extraction sur phase solide. La limite de quantification est comprise entre 0.002 µg/L et 0.010 µg/L selon les échantillons.

Enfin, 4 métabolites du chlorothalonil ont été recherchés pour la première fois en 2020.

¹ Campagne de mars repoussée en juin suite aux contraintes sanitaires liées à la COVID19

² Le méthyl-tert-butyl éther (MTBE) n'a pas été analysé en janvier

Médicaments

Les échantillons sont analysés par le laboratoire SCITEC (Lausanne) par LC-MS/MS sur une palette de 67 résidus médicamenteux dont des narcotiques et des substances hormonales (Tableau en Annexe 3). La ropivacaïne, anesthésiant, a été rajoutée depuis 2020 suite à sa détection dans les eaux du Rhône.

Autres substances

L'analyse du 1,4-dioxane a été ajoutée à la campagne de suivi depuis 2017 suite aux valeurs mesurées dans le Rhône amont et sa nappe, la campagne a été reconduite en 2020. De plus, le benzotriazole et le tolyltriazole, détectés dans les eaux usées et dans le Rhône, ont été rajoutés pour la campagne de 2020 de même que le MTBE détecté en 2018 dans les eaux du Rhône. Les analyses de la Benzidine et du 4-amino-biphényl, substances ajoutées à la campagne de 2019, ont été reconduites en 2020. Ces substances sont analysées par le laboratoire SCITEC.

3.2 CONTROLES

Les laboratoires ayant réalisé les analyses sont accrédités selon les prescriptions des normes ISO/CEI 17025:2017 pour les laboratoires d'essai. Cette exigence contraint à la mise en place d'une assurance qualité, au respect des bonnes pratiques professionnelles et donc à ce que tout soit mis en œuvre pour garantir la qualité des résultats.

4. MICROPOLLUANTS DANS LES EAUX DU LÉMAN

4.1 ÉLÉMENTS TRACE METALLIQUES

Les concentrations mesurées en éléments trace métalliques totaux et dissous sont présentées dans le tableau 2. Les méthodes permettent de vérifier les teneurs par rapport aux limites réglementaires.

Tableau 2 : Éléments trace métalliques totaux (T) et dissous (D) - Campagnes de juin et septembre 2020. Léman - Grand Lac (Station SHL 2).

Table 2 : Survey done on June and September 2020. Lake Geneva - Grand Lac (SHL 2).

[µg/L]		Valeurs limites		LOQ	Juin		Septembre	
		OPBD et CE/1998/83	OEaux		Mélange 1 et 30 m	Mélange 200 et 305 m	Mélange 1 et 30 m	Mélange 200 et 305 m
Aluminium	T	200	-	0.60	4.65	1.55	4.67	0.94
	D	-	-		2.83	1.14	4.05	0.83
Antimoine	T	5	-	0.030	0.104	0.098	0.108	0.106
	D	-	-		0.101	0.096	0.104	0.101
Argent	T	100	-	0.005	<0.005	<0.005	nd	nd
	D	-	-		<0.005	<0.005	nd	nd
Arsenic	T	10	-	0.20	1.09	1.89	0.97	2.15
	D	-	-		1.06	1.85	0.94	2.20
Baryum	T	-	-	1.0	18.1	18.3	16.8	19.6
	D	-	-		17.0	17.6	16.3	19.6
Bore	T	1000	-	0.3	11.3	13.2	11.3	13.7
	D	-	-		11.0	13.3	11.0	14.0
Cadmium	T	3 / 5	0.2	0.005	0.005	0.006	0.006	<0.005
	D	-	0.05		0.005	0.006	<0.005	nd
Cerium	T	-	-	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	nd
	D	-	-		<0.01	<0.01	nd	nd
Chrome	T	50	5	0.050	0.139	0.080	0.087	0.062
	D	-	2		0.131	0.075	0.082	0.058
Cobalt3	T	-	-	0.005	0.019	0.012	0.015	0.011
	D	-	-		0.016	0.012	0.014	0.011

³ Paramètre non accrédité

[µg/L]		Valeurs limites		LOQ	Juin		Septembre	
		OPBD et CE/1998/83	OEaux		Mélange 1 et 30 m	Mélange 200 et 305 m	Mélange 1 et 30 m	Mélange 200 et 305 m
Cuivre	T	1000 /2000	5	0.30	0.66	0.49	0.49	0.41
	D	-	2		0.64	0.49	0.46	0.40
Fer	T	200	-	0.60	4.97	0.82	1.18	1.22
	D	-	-		1.82	<0.06	<0.06	<0.06
Gadolinium	T	-	-	0.005	0.005	<0.005	0.006	<0.005
	D	-	-		0.005	<0.005	0.005	<0.005
Manganèse	T	50	-	0.30	0.34	1.24	<0.03	0.83
	D	-	-		nd	0.503	nd	nd
Mercure	T	1	0.03	0.0005	<0.0005	nd	<0.0005	<0.0005
Molybdène	T	-	-	0.05	1.41	1.39	1.39	1.40
	D	-	-		1.36	1.38	1.37	1.41
Nickel	T	20	10	0.30	0.74	0.62	0.64	0.55
	D	-	5		0.75	0.62	0.61	0.52
Plomb	T	10	10	0.050	0.066	nd	<0.050	nd
	D	-	1		<0.050	nd	<0.050	nd
Rubidium	T	-	-	0.10	2.30	2.50	2.28	2.45
	D	-	-		2.36	2.45	2.24	2.43
Strontium	T	-	-	5	447	438	419	490
	D	-	-		436	459	417	470
Thallium	T	-	-	0.005	0.008	0.007	0.009	0.006
	D	-	-		0.008	0.007	0.008	0.006
Titane	T	-	-	0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20
	D	-	-		0.20	<0.20	<0.20	nd
Tungstène	T	-	-	0.050	0.083	0.072	0.078	0.076
	D	-	-		0.081	0.071	0.076	0.077
Uranium	T	30	-	0.030	1.92	1.87	1.91	1.93
	D	-	-		1.86	1.86	1.86	1.93
Vanadium	T	-	-	0.030	0.132	0.115	0.114	0.086
	D	-	-		0.126	0.111	0.106	0.084
Zinc	T	5000	20	0.50	1.56	1.17	1.06	<0.50
	D	-	5		1.53	1.21	1.01	<0.50

nd : non détecté, <x : en dessous de la limite de quantification, LOQ : limite de quantification de la méthode

Les teneurs mesurées demeurent faibles et respectent les valeurs de références suisse et française pour l'eau potable (OPBD 2016 et Directive européenne CE/1998/83) ainsi que les exigences relatives à la qualité des eaux superficielles de l'ordonnance Suisse sur la protection des eaux (OEaux, 1998, révision 2020). Des dynamiques différentes sont observées au sein du lac pour ces métaux. Certains paramètres ont des concentrations systématiquement plus élevées en surface (couche 1-30 m) qu'en profondeur (couche 200-305 m) comme l'aluminium, le chrome, le cobalt, le cuivre, le nickel, le thallium et le vanadium indiquant une dynamique liée aux activités de surface du lac. A l'inverse, les concentrations du manganèse et de l'arsenic sont systématiquement plus élevées en profondeur qu'en surface, montrant que ces paramètres sont liés aux dynamiques avec le sédiment.

Ci-dessous, la présentation des résultats pour le suivi du manganèse dans les couches profondes du lac. En 2012, un brassage complet du lac a eu lieu, permettant une remontée de l'oxygène dissous jusqu'à 11.2 mg/L à 309 m de profondeur. Depuis, la teneur en oxygène dissous à cette profondeur diminue. Le manque d'oxygène engendre la réduction du manganèse des couches supérieures des sédiments et une remobilisation de celui-ci dans les eaux (SCHALLER T. et WEHRLI B, 1997). Selon les relevés physico-chimiques de 2020, la concentration en oxygène dissous est inférieure à 4 mg/L tout au long de l'année. Les analyses de manganèse total effectuées de 2017 à 2019 sur les eaux brutes mettaient en évidence dans la couche profonde du lac (305 et 309 m) un relargage cyclique et annuel par les sédiments (figure 3). Ce phénomène n'a pas eu lieu en 2020.

Tableau 3 : Manganèse - Campagnes de juin et septembre 2020 à SHL2.

Table 3 : Manganese - Survey done in June and September 2020 Lake Geneva at SHL2.

Profondeur (m)	Teneurs en µg/L	
	Juin	Septembre
275 m	0.50	<0.30
300 m	1.43	0.32
305 m	1.40	1.13
309 m	1.70	1.97

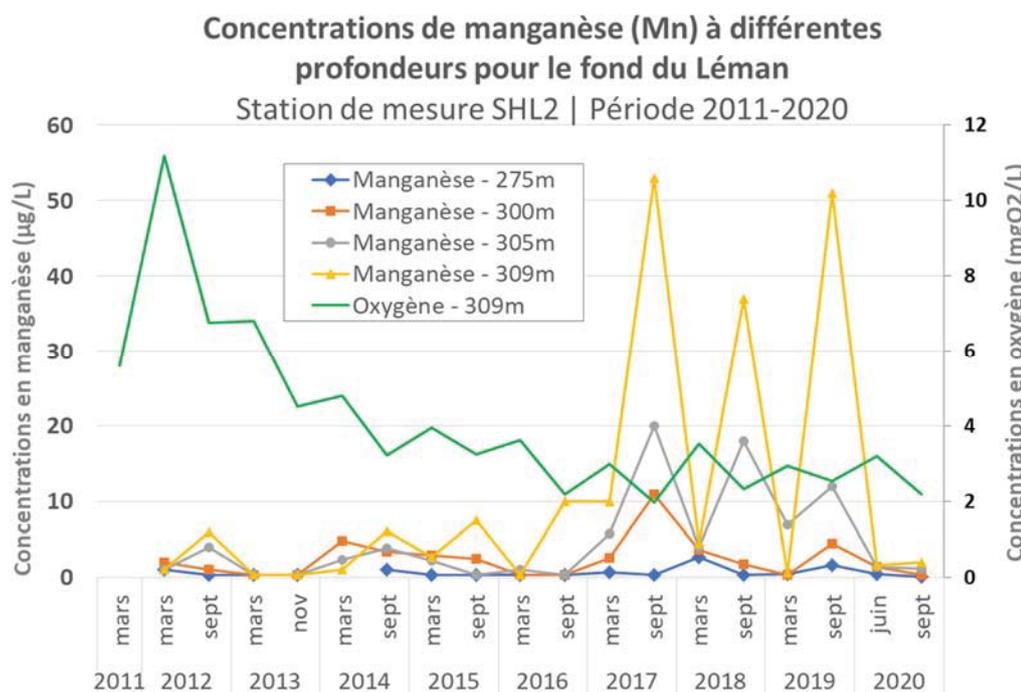


Figure 3 : Evolution des concentrations en manganèse total au centre du Léman (station SHL2) de 2011 à 2020 pour 4 profondeurs.

Figure 3 : Change in the concentrations of manganese in the center of Lake Geneva (SHL2) between 2011 and 2020 at 4 depths.

4.2 PESTICIDES

4.2.1. EVOLUTION DE LA CONCENTRATION TOTALE EN PESTICIDES À 1, 30, 100 ET 305 M DE PROFONDEUR

Sur un total de 144 pesticides, entre 12 et 28 substances sont détectées (tableau 4). Il faut noter que le premier échantillonnage a été effectué en juin, en raison des mesures sanitaires liées de la Covid-19, et non pas en mars comme les années précédentes. A priori cette différence de date de prélèvement ne devrait pas engendrer de grandes différences au vu de l'inertie du Léman. On ne voit en effet pas de réel impact des périodes d'application dans les graphiques de la figure 6.

En plus des substances précédemment recherchées, l'ethoxysulfuron, le fluazinam, l'hexaflumuron, l'indoxacarb, le propamocarb, la terbuthryne et le teflubenzuron sont maintenant également cherchées. Ces substances sont détectées, à quelques profondeurs, à la limite de détection.

Le chlorothalonil n'est plus recherché, mais quatre de ses métabolites, classés comme pertinents par l'Office Fédérale de l'Agriculture, le sont. Ils n'ont pas été détectés en dessus de la limite de quantification de 0.025 µg/L. Les métabolites du métolachlor et du métazachlor ne sont en revanche plus cherchés car non classés comme pertinents. Cependant, il pourrait être intéressant d'inclure le métolachlor-OXA dans un prochain monitoring car en 2019, sa concentration atteignait 0.011 µg/L à 305 m de profondeur.

En 2020, les teneurs en pesticides totaux oscillent entre 0.046 et 0.165 µg/L (tableau 4 et figures 4 et 5). Ces valeurs s'inscrivent dans la continuité de ce qui est observé depuis 2008. Elles sont cependant un peu plus basses que ce qui a été observé depuis 2008 dû notamment à la baisse des rejets industriels. Ces totaux sont inférieurs aux réglementations en vigueur. En effet, les valeurs mesurées sont toujours inférieures aux réglementations suisse et française fixant pour les eaux de boisson une teneur maximale à 0.5 µg/L pour la somme des pesticides (Directive CE/98/83 et OPBD 2016).

Depuis 2014, la concentration totale à 305 m reste plus élevée qu'aux autres profondeurs. Depuis 2012, il n'y a pas eu de brassage jusqu'au fond du lac, ce qui pourrait expliquer cette tendance.

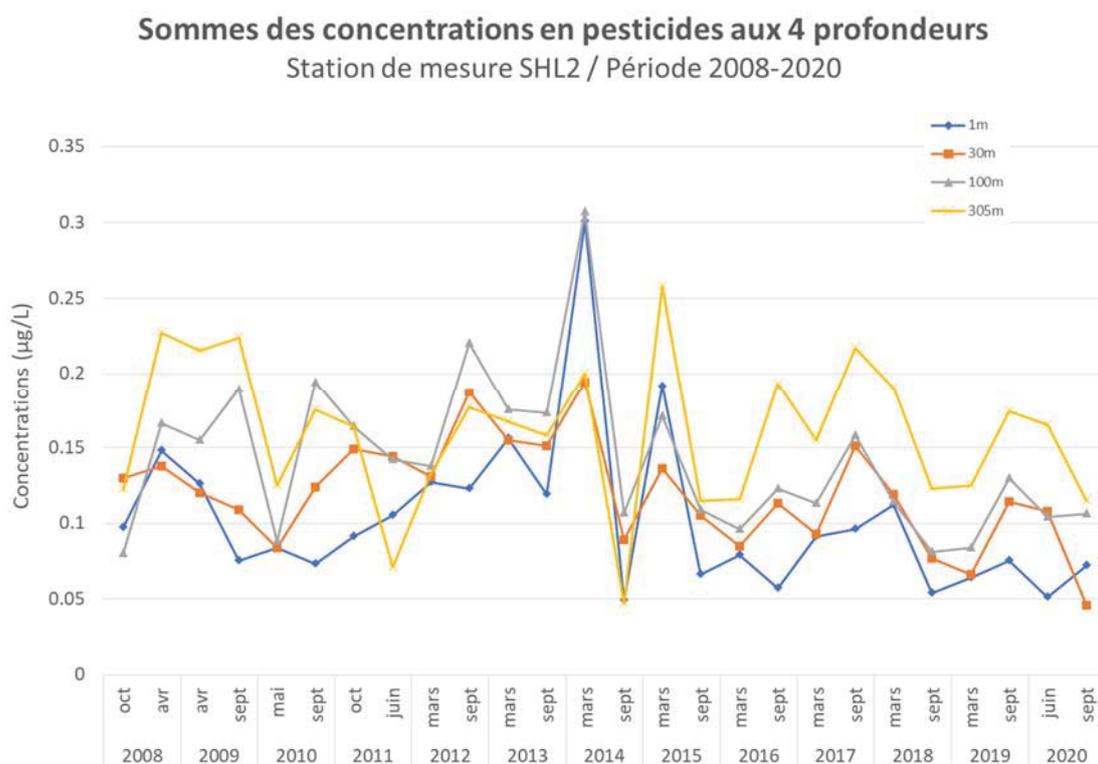


Figure 4 : Evolution des concentrations en pesticides totaux recherchés au centre du Léman (station SHL2) de 2008 à 2020 pour 4 profondeurs.

Figure 4 : Change in the total concentrations of the pesticides surveyed in the center of Lake Geneva (SHL2) between 2008 and 2020 at 4 depths.

4.2.2. EVOLUTION DES CONCENTRATIONS INDIVIDUELLES

La figure 6 montre l'évolution depuis 2004 des 10 pesticides ou produits de dégradation de pesticides décelés à des teneurs supérieures ou égales à 0.010 µg/L lors des campagnes des années précédentes à la profondeur de 30 m (profondeur représentative à laquelle les crépines des installations de potabilisation pompent l'eau du lac).

En 2020 sur l'ensemble des profondeurs, quatre substances et un métabolite ont été trouvées à des concentrations supérieures ou égales à 0.010 µg/L (tableau 4) : le metalaxyl (fongicide), l'AMPA (produit de dégradation de l'herbicide glyphosate) et l'atrazine (herbicide interdit depuis 2007 en Suisse et depuis 2003 en France), le linuron et le diuron (herbicides)

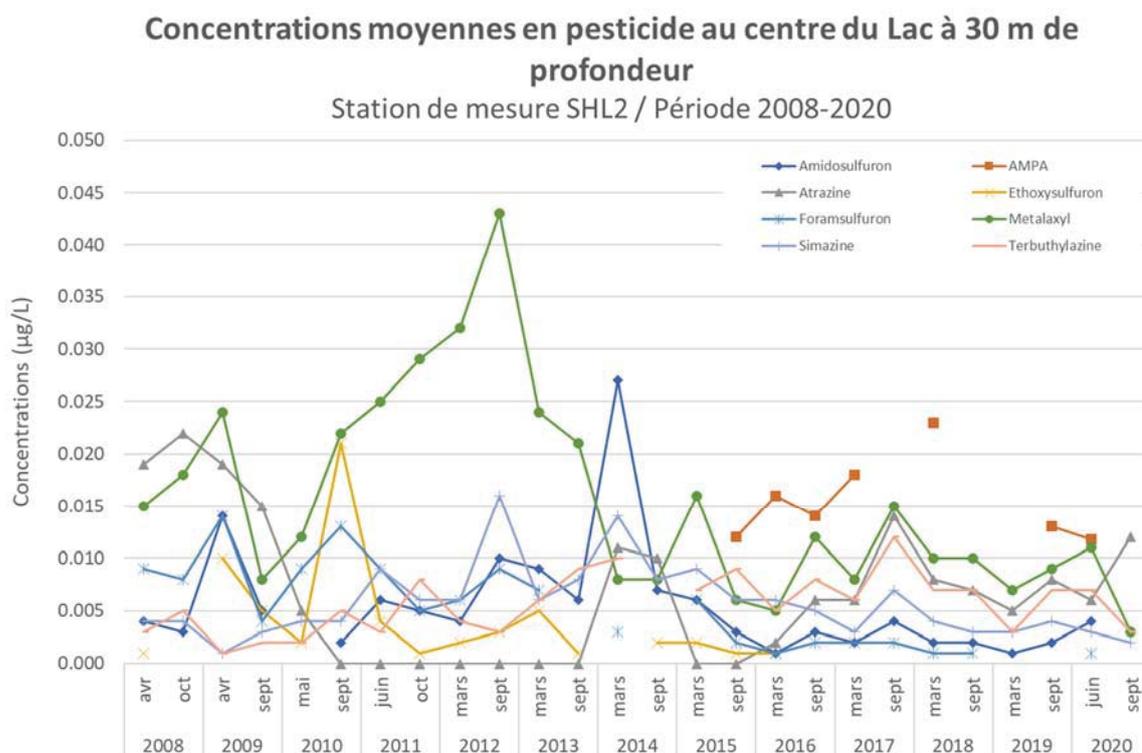


Figure 5 : Evolution des concentrations en divers pesticides à 30 m (station SHL2) de 2008 à 2020.

Figure 5 : Change in the concentrations of some pesticides at 30 m (SHL2) between 2008 and 2020.

Leurs concentrations restent en-dessous de la limite maximale autorisée par substance individuelle dans les eaux potables, qui est fixée à 0.1 µg/L (OPBD 2016, révision 2018). Du point de vue environnemental, les concentrations de ces substances sont également inférieures aux normes de qualité environnementale (NQE) au sens de la directive européenne déterminant les NQE pour les eaux de surface (Directive 2008/105/EC). De même qu'elles sont inférieures aux limites légales selon l'Annexe 2 de l'OEaux (OEaux, 1998, révision 2020) ainsi qu'aux critères de qualité (CQE) mis en place pour la Suisse par le Centre Ecotox⁴ dont certaines ont été incluses dans la nouvelle version de l'Ordonnance sur la Protection des Eaux (révision 2020).

La figure 6A présente, à la profondeur de 30 m, les concentrations d'atrazine et de ses métabolites cumulés. A noter que depuis 2018, l'atrazine-deséthyl-desisopropyl-2-hydroxy et l'atrazine-deséthyl-2-hydroxy ne sont plus suivies, car les concentrations étaient très faibles. L'atrazine a été retirée du marché en France en 2003 et en Suisse en 2007. De manière cohérente, on observe une baisse des concentrations dans le Léman avec des concentrations non-détectables dès la fin 2010 (ORTELLI et al. 2011). Étonnamment, la concentration en atrazine remonte dès fin 2013 à 0.01 µg/L et atteint aujourd'hui des concentrations jusqu'à 0.023 µg/L à 305 m en septembre 2020. Les concentrations totales des métabolites, elles, diminuent, en cohérence avec l'interdiction de la substance. Cette augmentation est étonnante, mais aucune explication n'a pu être trouvée à cette date. Il sera donc important de suivre son évolution ces prochaines années.

Le foramsulfuron (Figure 6B), un herbicide dont les concentrations étaient proches de 0.9 µg/L en 2005, a vu ses concentrations diminuer jusqu'à des valeurs proches de la limite de quantification depuis 2014. Ceci est principalement dû à la diminution des rejets industriels.

Les concentrations en metalaxyl, un fongicide également en partie de source industrielle, ont également baissé pour se stabiliser en-dessous de 0.01 µg/L (Figure 6C). Cette année cependant, la concentration à 305 m en juin était de 0.02 µg/L. Il s'agit donc toujours d'une substance à suivre dans le Léman. Pour cette substance, il semble que des rejets ne soient plus observés dans le Rhône depuis 2014 (Bourgeois et al. 2021).

⁴ <https://www.centreecotox.ch/prestations-expert/criteres-de-qualite-environnementale/propositions-de-criteres-de-qualite/>

Les concentrations d'amidosulfuron (Figure 6D) ont baissé depuis 2007 et étaient plus ou moins constantes jusqu'en 2019 au-dessous de 0.005 µg/L. Un pic est toutefois constaté en 2014, son origine industrielle a été identifiée grâce aux analyses effectuées dans le Rhône amont (BERNARD et MANGE 2015). En 2020, une concentration de 0.011 µg/L a été observée en juin. La substance n'a plus été détectée à aucune profondeur en septembre. Cette substance n'est pas détectée dans le Rhône en 2020. Cependant elle l'a été en 2019. (Bourgeois et al. 2021).

L'AMPA (Figure 6E), produit de dégradation du glyphosate, mais également de nombreux tensio-actifs, analysé depuis 2015, était en augmentation jusqu'en 2018. Sa concentration a diminué à 100 m en 2019 mais restait plus élevée au fond du lac, à hauteur de 0.048 µg/L. En 2020, la concentration la plus élevée mesurée était de 0.029 µg/L à 305 m de profondeur.

Les concentrations en glyphosate fluctuent autour de 0.005 µg/L. Le glufosinate (herbicide total) n'est quant à lui pas décelé par les analyses.

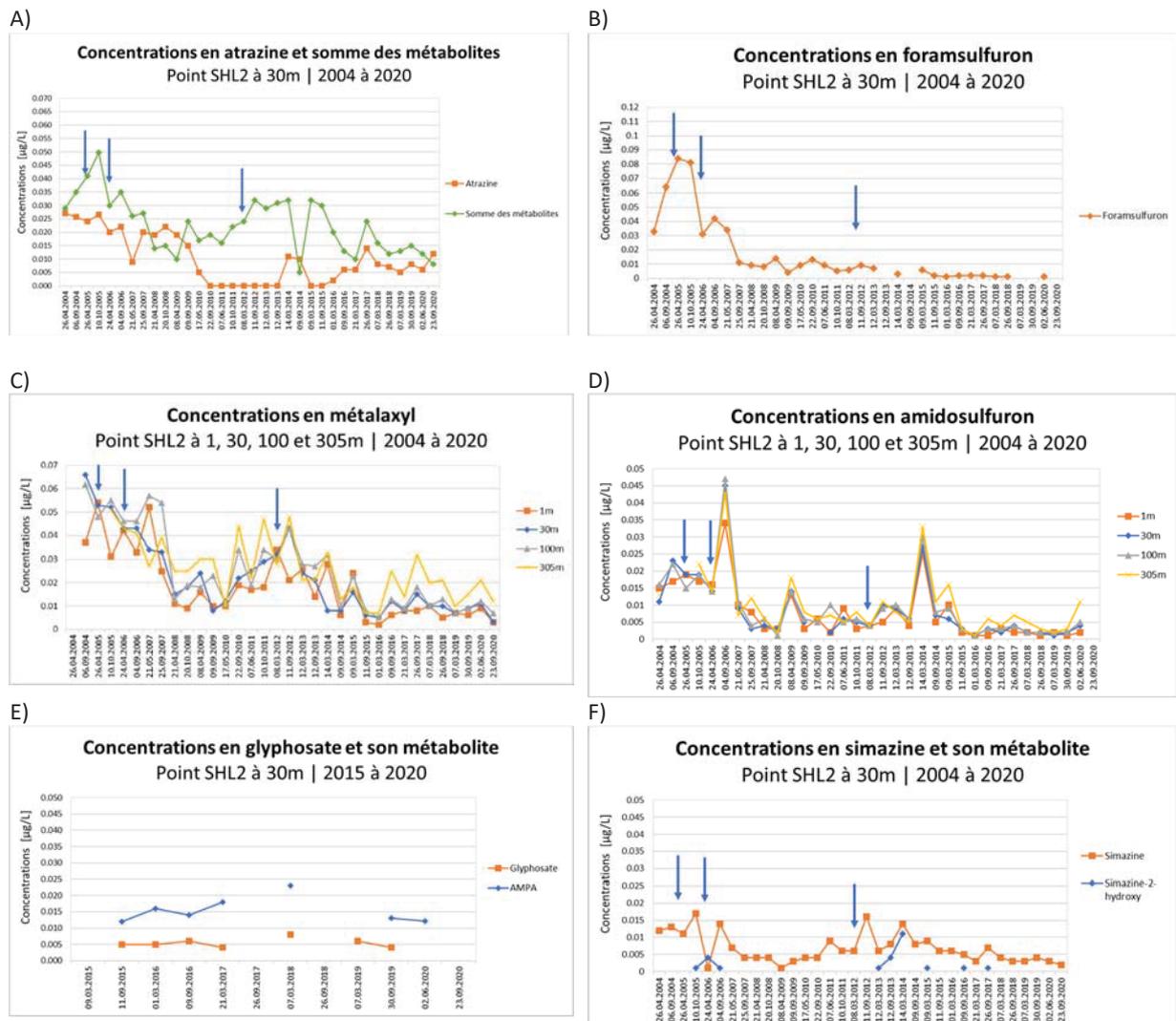


Figure 6 : Evolution des concentrations en divers pesticides au centre du Léman à 30 m (station SHL2) et brassages complets (flèches bleues) de 2004 à 2019. A) Atrazine et 6 de ses métabolites, B) Foramsulfuron et metalaxyl, C) Metolachlor et 2 de ses métabolites, D) Amidosulfuron, E) Glyphosate et AMPA et F) Simazine et son métabolite.

Figure 6 : Change in the concentrations of some pesticide at 30 m in the center of Lake Geneva (SHL2) and complete mixing (blue arrows) between 2004 and 2019. A) Atrazine and its 6 metabolites, B) Foramsulfuron and metalaxyl, C) Metolachlor and its 2 metabolites, D) Amidosulfuron, E) Glyphosate and AMPA and F) Simazine and its metabolite.

Les concentrations en simazine (Figure 6F), proches de 0.004 µg/L entre 2008 et 2010, ont augmenté entre 2011 et 2014 avec un maximum à 0.016 µg/L. Depuis 2015, cette concentration diminue et atteint 0.004 µg/L depuis 2019. Cette substance est interdite à la vente en France depuis 2004 et en Suisse depuis 2007. L'augmentation entre 2011 et 2014 ne peut donc pas se justifier par son utilisation agricole. Comme pour l'atrazine, il sera important de suivre son évolution ces prochaines années.

L'ethoxysulfuron qui n'était plus détecté depuis septembre 2016 a été retrouvé en juin 2020 à 305m. Pour rappel, des concentrations élevées avaient été trouvées en 2010. Il n'est pas homologué en Suisse. L'hexaflumuron, un autre herbicide non homologué en Suisse a été détecté à des concentrations atteignant 0.009 µg/L en juin. De même le téflubenzuron a été détecté en juin 2020.

L'herbicide terbumeton n'est également plus détecté depuis 2016. Pour rappel il n'est plus homologué en Suisse et en France depuis 2002. En revanche, le fluometuron, un herbicide utilisé pour les cultures de coton et non homologué en Suisse et en France est détecté entre 0.001 et 0.004 µg/L depuis 2018.

Enfin, le fluazinam, l'indoxacarb et le propamocarb sont détectés à des concentrations légèrement en dessus de la limite de détection. Ils sont autorisés en Suisse.

Tableau 4 : Produits phytosanitaires (et leurs métabolites*) décelés dans le Léman à SHL2 le 02 juin et le 23 septembre 2020 à quatre profondeurs.

Table 4 : Pesticides (and their metabolites*) detected in Lake Geneva samples at SHL2 of 02 June and 23 September 2020 at four depths.

Concentrations (µg/L)	CQE ^a	NQE/ VG/vs ^b	1 m		30 m		100 m		305 m	
			juin	sept.	juin	sept.	juin	sept.	juin	sept.
2,6-dichlorobenzamide		-	0.002	0.002	0.004	0.003	0.004	0.003	0.004	0.004
Amidosulfuron		-	0.002		0.004		0.005		0.011	
AMPA	1500	452			0.0118		0.0122	0.012	0.0289	0.002
Atrazine		0.6	0.004	0.015	0.006	0.012	0.007	0.017	0.016	0.023
Atrazine-2-hydroxy*		-	0.002	0.002	0.003	0.002	0.004	0.003	0.005	0.004
Atrazine-desethyl*		-	0.003	0.005	0.005	0.004	0.006	0.006	0.009	0.007
Atrazine-desisopropyl*		-	0.002	0.004	0.004	0.002	0.005	0.004	0.005	0.005
Chlortoluron	0.6	0.1			0.002		0.002	0.002	0.003	0.002
Cyproconazole	1.3	0.6	0.001		0.002		0.002	0.001	0.004	0.002
Diuron	0.07	0.2	0.002	0.005	0.002	0.006	0.003	0.008	0.002	0.01
Ethoxysulfuron		-							0.002	
Fluazinam		-			0.003					
Fluometuron		-		0.001	0.002		0.002	0.002	0.004	0.004
Foramsulfuron	0.017	-	0.001		0.001		0.001		0.002	
Glyphosate	120	28		0.005						
Hexaflumuron		-	0.002		0.009		0.005			
Iodosulfuron-méthyl		-			0.001		0.001		0.003	
Indoxacarb		-			0.004		0.002		0.001	
Isoproturon	0.64	0.3							0.001	0.001
Linuron	0.26	1.0		0.004	0.001	0.005	0.001	0.016	0.001	0.007
Mecoprop	3.6	20	0.004		0.003		0.002	0.002		
Metaxyl	20	20	0.009	0.003	0.011	0.003	0.012	0.007	0.021	0.012
Metobromuron		-							0.002	0.001
Métolachlore	(-S) 0.69	-	0.001	0.003	0.002	0.002	0.003	0.003	0.005	0.005
Prometryne		-			0.001				0.002	0.003
Propamocarb	1000	-		0.001						
Propiconazole		-	0.002	0.001	0.003		0.003	0.003	0.005	0.004
Simazine		1.0	0.002	0.004	0.003	0.002	0.005	0.004	0.007	0.004
Teflubenzuron		-			0.002					

Concentrations (µg/L)	CQE ^a	NQE/ VG/vs ^b	1 m		30 m		100 m		305 m	
			juin	sept.	juin	sept.	juin	sept.	juin	sept.
Terbuthylazine	0.22	0.06	0.005	0.006	0.007	0.003	0.007	0.005	0.008	0.006
Terbuthylazine, Deséthyl-*		-	0.004	0.007	0.006	0.002	0.006	0.005	0.006	0.005
Terbuthylazine-2-hydroxy*		-	0.002	0.004	0.004		0.004	0.003	0.005	0.004
Terbutryne	0.065		0.001		0.001				0.001	
Somme des concentrations en pesticides			0.051	0.072	0.108	0.046	0.104	0.106	0.165	0.115
Concentration maximal observée			0.012	0.015	0.012	0.012	0.029	0.017	0.021	0.023
Nombres de substances détectées			19	17	28	12	24	19	27	20

(a) Critères de qualités environnementales. Base de données du Centre Ecotox, : <https://www.centrecotox.ch/prestations-expert/criteres-de-qualite-environnementale/propositions-de-criteres-de-qualite/>. En gras, les valeurs qui ont été introduites dans la nouvelle version de l'Ordonnance sur la Protection des Eaux (OEaux) en Suisse.

(b) Normes des qualités environnementales (NQE) ou valeurs guides (VG) ou valeurs seuils (vs) : Ineris <https://substances.ineris.fr/fr/page/9>

En gras : concentration individuelle supérieure ou égale à 0.01 µg/L.

4.3 MEDICAMENTS

La surveillance des résidus médicamenteux a été légèrement modifiée en 2020 en rajoutant une campagne de prélèvement en janvier à celles de juin et septembre ainsi que des profondeurs à 1 et 305 m en plus de 15 et 100 m. L'annexe 2 liste toutes les substances analysées. Les résultats sont présentés dans le tableau 5. Aucun dépassement des valeurs limites existantes au niveau Suisse n'est observé.

Tableau 5 : Résidus médicamenteux quantifiés dans le Léman à la station SHL2 en 2020

Table 5 : Pharmaceuticals detected in Lake Geneva samples at SHL2 in 2020

Concentrations (µg/L)		CQE ^(a)	1 m			15 m			100 m			305 m		
			Jan.	Juin	Sept									
Acide méfénamique	Anti-inflammatoire	1								0.001				
Atenolol	Bêta-bloquant							0.02						
Bupivacaïne	Anesthésiant	-					0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.003	0.004	0.003
Carbamazépine	Anti-épileptique	2	0.009	0.007	0.002	0.009	0.009	0.004	0.011	0.012	0.010	0.019	0.023	0.015
Carisoprodol	Myorelaxant	-	0.014	0.014	0.011	0.015	0.016	0.010	0.019	0.018	0.024	0.027	0.040	0.027
Guanylurea	Métabolite metformine	-	0.311			0.195			0.199			0.127		
Mémantine	Maladie Alzheimer		0.013			0.014	0.011		0.021	0.023	0.018	0.034	0.046	0.036
Mepivacaïne	Anesthésiant	-	0.008			0.007	0.006		0.012	0.009	0.012	0.020	0.025	0.030
Metformine	Antidiabétique	160	0.506	0.366	0.352	0.469	0.438	0.371	0.174	0.244	0.315	0.143	0.060	0.090
Méthénamine	Antiseptique	-	0.076			0.072			0.066			0.036	0.075	
Prilocaine	Anesthésiant	-	0.002	0.001	0.003	0.002	0.003	0.003	0.003	0.004	0.008	0.004	0.008	0.013
Sulfaméthazine	Antibiotique	30000	0.015	0.001		0.020			0.021			0.012		
Tramadol	Antalgique		0.003		0.001	0.003	0.001	0.003	0.003	0.003	0.004	0.003	0.003	0.004
Trimetazidine	Angine de poitrine/vertige											0.004	0.002	0.003

(a) Critère de qualité environnementale chronique (<https://www.centrecotox.ch/prestations-expert/criteres-de-qualite-environnementale/propositions-de-criteres-de-qualite/>)

Sur les 67 substances mesurées ayant un critère de qualité, aucune concentration ne dépasse cette valeur. Ce sont les mêmes substances qui ont été quantifiées en 2019 qui se retrouvent quantifiées en 2020 excepté l'atenolol qui a été quantifié pour la première fois ainsi que la sulfaméthazine (sulfonamide, antibactérien, à usage notamment vétérinaire). Le sulfaméthoxazole n'a pas du tout été quantifié en 2020 mais le laboratoire SCITEC le détecte dans les échantillons. Il a été demandé, dès avril 2021, d'effectuer, pour les futures campagnes, un enrichissement sur SPE (solide phase extraction) afin de descendre la LOQ à 1 ng/L. La ropivacaine, ajoutée à la campagne de 2020 n'a pas été quantifiée.

La metformine, reste la substance médicamenteuse en plus grande concentration et dépasse de plus d'un ordre de grandeur celle des autres résidus détectés (figure 7). La médiane est de 0.4 µg/L aux deux profondeurs. Depuis 2018, la teneur en guanylurée, produit de dégradation de la metformine, est aussi suivie. Cette substance n'est pas toujours détectée, néanmoins c'est le deuxième composé pharmaceutique le plus concentré dans les eaux du lac.

Cette substance, utilisée comme antidiabétique, est prescrite pour traiter les patients atteints de diabète de type 2 et particulièrement les patients en surpoids. Une utilisation comme coupe faim expliquerait aussi sa présence en forte concentration dans les eaux usées. Détectée dans 100 % des échantillons d'eau usées prélevés en 2020 en sortie de STEP du canton de Vaud, la concentration moyenne est de 17.6 µg/L avec des maximums allant jusqu'à 90.7 µg/L (Bilan 2020 de l'épuration Vaudoises, DGE-DIREV).

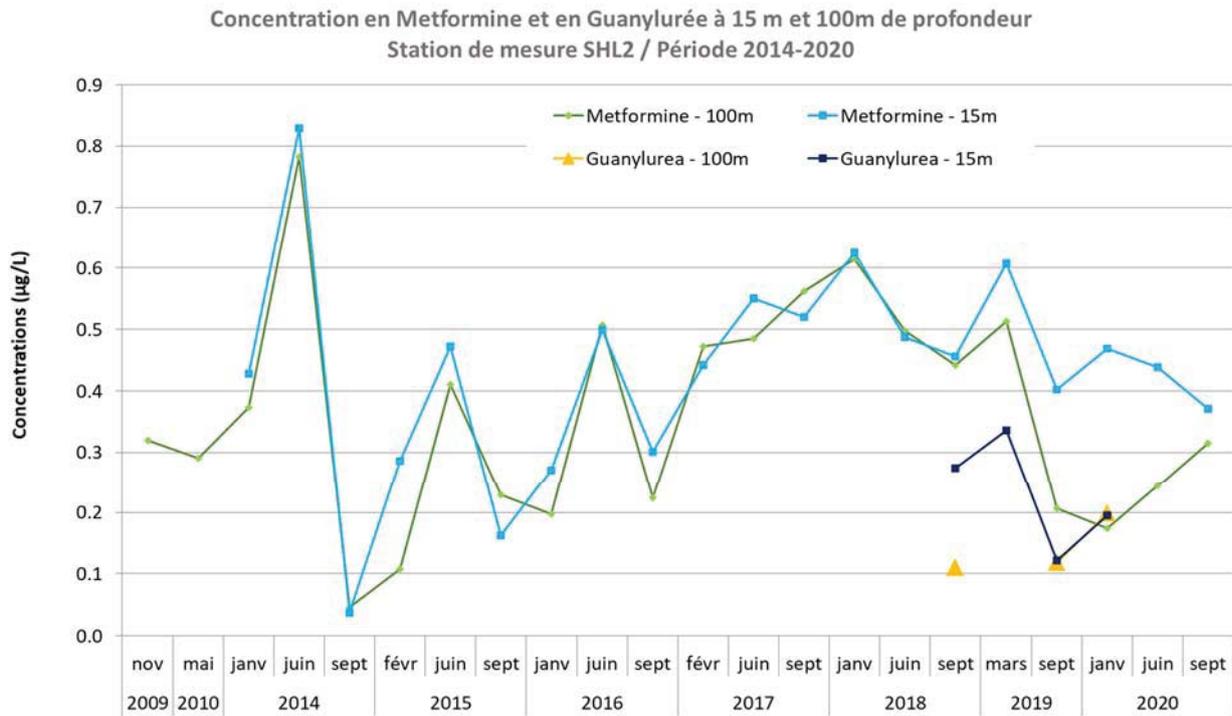


Figure 7 : Evolution des concentrations de metformine depuis 2014 et de son produit de dégradation la guanylurée.

Figure 7 : Change in metformin concentration since 2014 and its degradation product concentrations.

Les concentrations en méthénamine (antiseptique utilisé contre les infections urinaires ou contre l’hyperhidrose dans le cadre de la protection de la peau des porteurs de prothèse) sont toujours en dessous de celles de la metformine et de la guanylurée (Figure 8) mais supérieures à celles des autres composés recherchés dans le lac. Depuis le début des analyses dans les eaux du lac qui ont débutées fin 2017, ses concentrations varient entre 0.037 et 0.093 µg/L La méthénamine est le deuxième principe actif le plus présent dans les eaux du Rhône amont après la metformine (BOURGEOIS et al. 2021). Auparavant fabriqué dans une usine du Bas-Valais, sa présence est expliquée aussi par les rejets des STEPs qui au niveau du Rhône représente 10 % des concentrations retrouvées (BERNARD et al, 2020).

Quant à la carbamazépine, au carisoprodol et à la mépivacaïne, leur présence se confirme année après année au sein du lac. Néanmoins, leurs concentrations ont bien diminuées (KLEIN, 2018), témoignant ainsi d’une réduction de la source de pollution en lien avec des rejets industriels. Depuis quelques années leurs concentrations (Figure 8) oscillent autour de 0.01 µg/L pour la carbamazépine et la mépivacaïne et autour de 0.02 µg/L pour le carisoprodol. De même nous observons une diminution des concentrations de la mémantine, avec des concentrations autour de 0,020 µg/L pour 2020. Produite dans le bassin versant du Valais depuis 2014 (BERNARD et al, 2016), son analyse dans les eaux du lac est effectuée depuis fin 2016. Les charges calculées dans les eaux du Rhône montrent une baisse importante dès 2018 (BOURGEOIS et al. 2021).

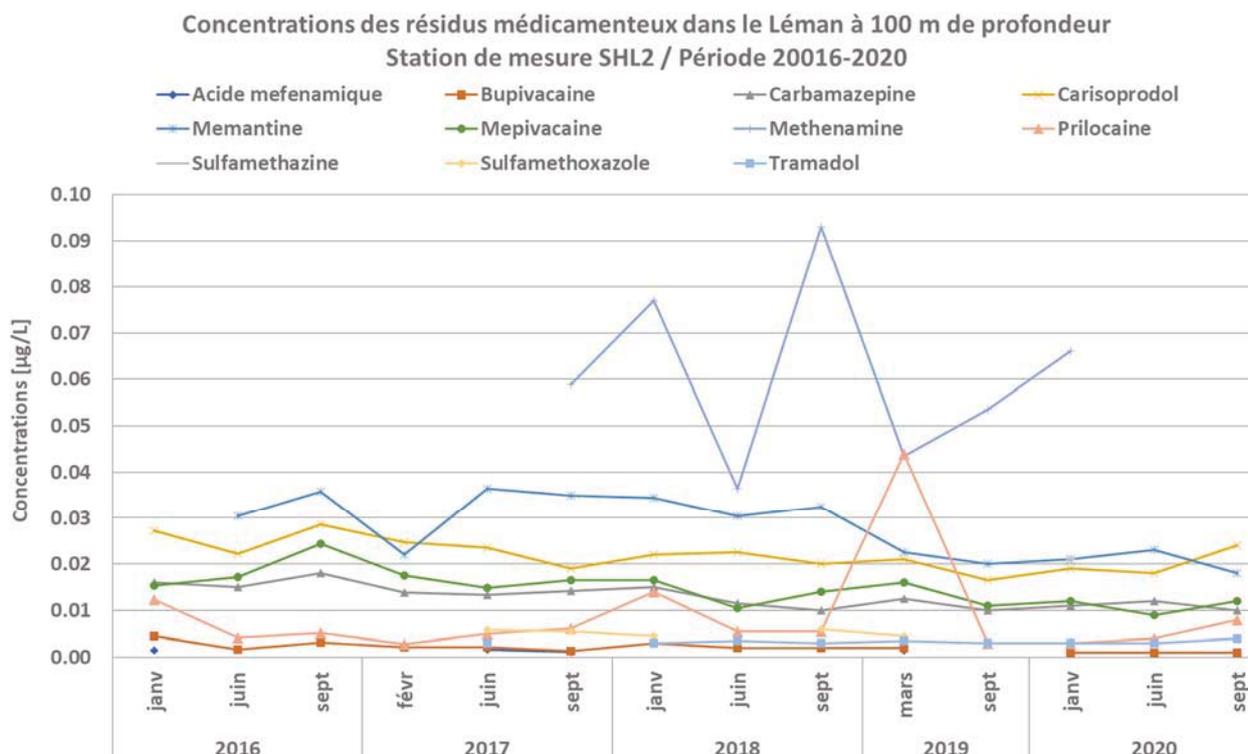


Figure 8 : Evolution des concentrations en résidus médicamenteux depuis 2016 à 100 m de profondeur (station SHL2).

Figure 8 : Change in some pharmaceutical concentrations since 2016 at 100 m depth (SHL2).

En 2020, le suivi des médicaments est effectué à 4 profondeurs : 1m, 15 m et 100 m et 305 m. La figure 9 ci-dessous montre les concentrations aux 4 profondeurs pour 7 de ces composés. Les concentrations sont plus élevées en profondeur exceptée pour la metformine pour laquelle les concentrations dans les couches profondes sont plus faibles qu'en surface. Ceci montre une dynamique différente au sein du lac influencé par le sédiment et la source d'apport.

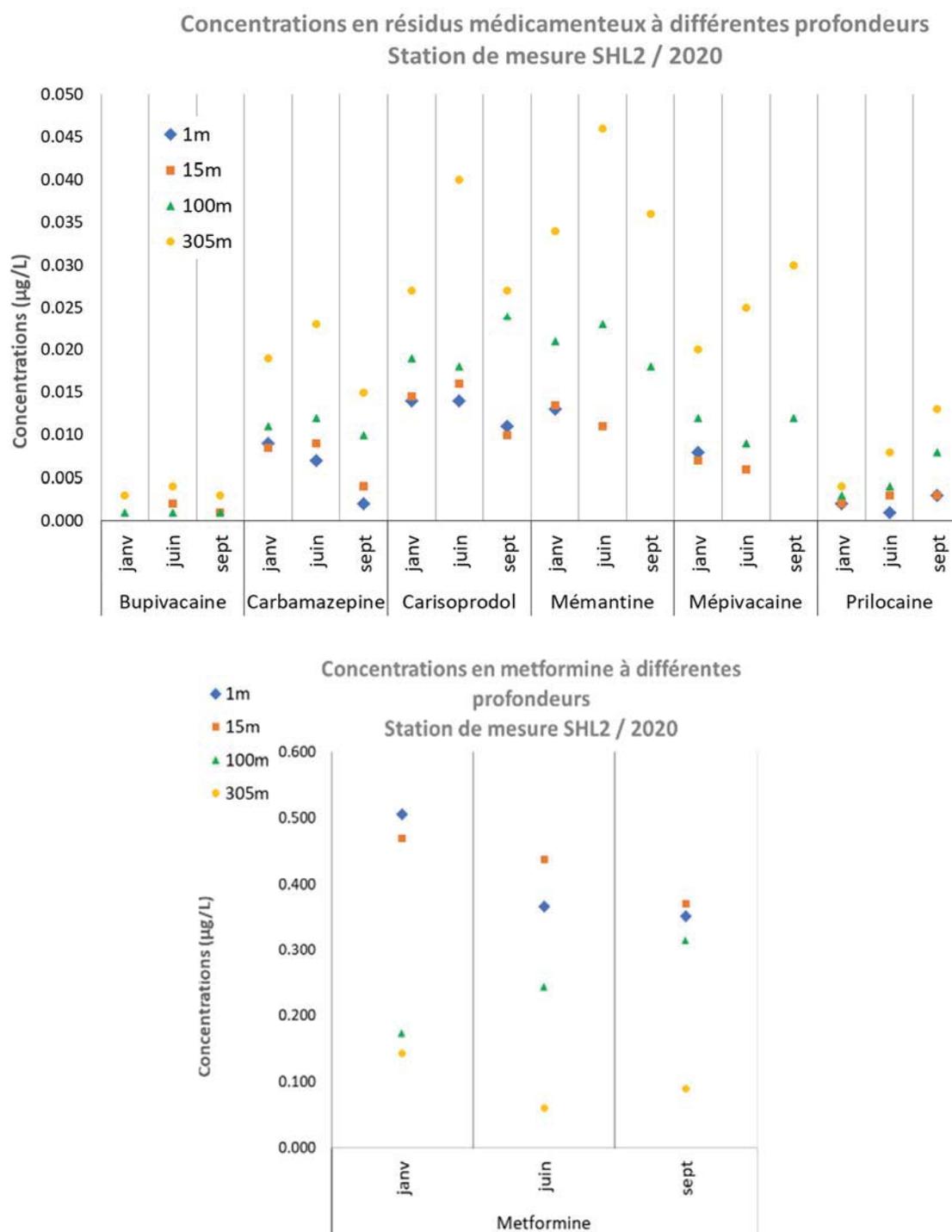


Figure 9 : Comparaison des concentrations (en µg/L) en résidus médicamenteux trouvées en 2020 aux différentes profondeurs (station SHL2).

Figure 9 : Comparison in some pharmaceutical concentrations find in 2020 at different depth (SHL2).

4.4 AUTRES SUBSTANCES

En 2014, le 1,4-Dioxane (solvant utilisé en industrie chimique) a été détecté dans des eaux souterraines du Valais faisant parties du réseau NAQUA de la confédération (BERNARD *et al.*, 2016). Rajouté depuis dans le suivi des micropolluants dans les eaux du Léman au point SHL2, ses concentrations oscillent entre 0.19 et 0.41 $\mu\text{g/L}$ (Figure 10) Il n'est pas toujours quantifié et les concentrations maximales observées restent en dessous de la limite légale Suisses dans l'eau potable de 6 $\mu\text{g/L}$ (Annexe 2, OPBD 2016).

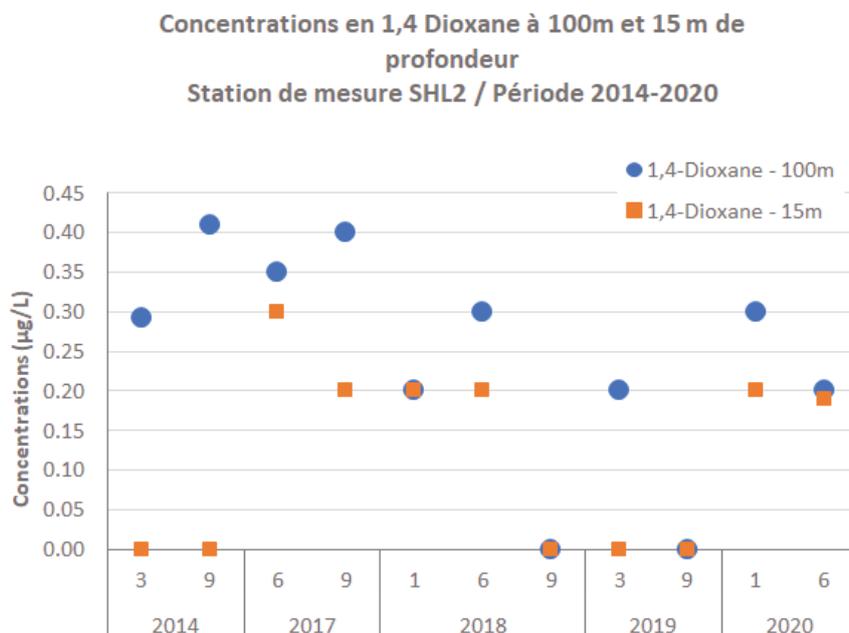


Figure 10 : Concentrations ($\mu\text{g/L}$) en 1,4-Dioxane à SHL2 à 15 et 100 m de profondeur

Figure 10 : Concentrations ($\mu\text{g/L}$) of 1,4-Dioxane in SHL2 at 15 and 100 m depth

Le 1^{er} avril 2019, un communiqué de presse du Canton du Valais annonçait une contamination des eaux souterraines par la benzidine depuis la décharge de Gamsenried en Valais. Les premières analyses dans les eaux du Léman ont débuté en septembre 2019 et ces analyses ont été reconduites dans les campagnes de 2020. Compte tenu que la benzidine est facilement dégradée en présence d'oxygène ainsi que par les UV, le métabolite 4-Aminobiphenyl y est également recherché.

Entre 2019 et 2020, les analyses n'ont pas montré de présence de la Benzidine et de son métabolite au seuil de quantification analytique de 0.001 $\mu\text{g/L}$.

Le benzotriazole et le tolyltriazole sont des additifs anticorrosifs employés en industrie mais aussi se retrouvant dans les eaux usées de par leur utilisation dans des produits de consommation courante (détergent pour lave-vaisselle, matériel inoxydable...). Ils sont retrouvés dans 100 % des échantillons des eaux usées en sortie de STEP au niveau du canton de Vaud et ainsi que dans les rivières (Bilan 2020 de l'épuration Vaudoises, DGE-DIREV). Au niveau du Rhône, les charges annuelles respectives en 2020 sont de 112 Kg et 100 kg (BOURGEOIS *et al.* 2021). Au niveau du Léman, des analyses effectuées entre 2005 et 2010 indiquaient la présence de ces substances dans ses eaux (Figure 11) à des concentrations variant entre 0.034 et 0.22 $\mu\text{g/L}$. Les concentrations en benzotriazole observées en 2005 sont 4 fois plus élevées que celles de 2020 indiquant une baisse d'apport au lac. En 2020, les deux substances sont détectées en janvier et juin avec des concentrations maximales de 0.045 $\mu\text{g/L}$ pour le benzotriazole et de 0.028 $\mu\text{g/L}$ pour le tolyltriazole. Les concentrations augmentent avec la profondeur (Figure 11).

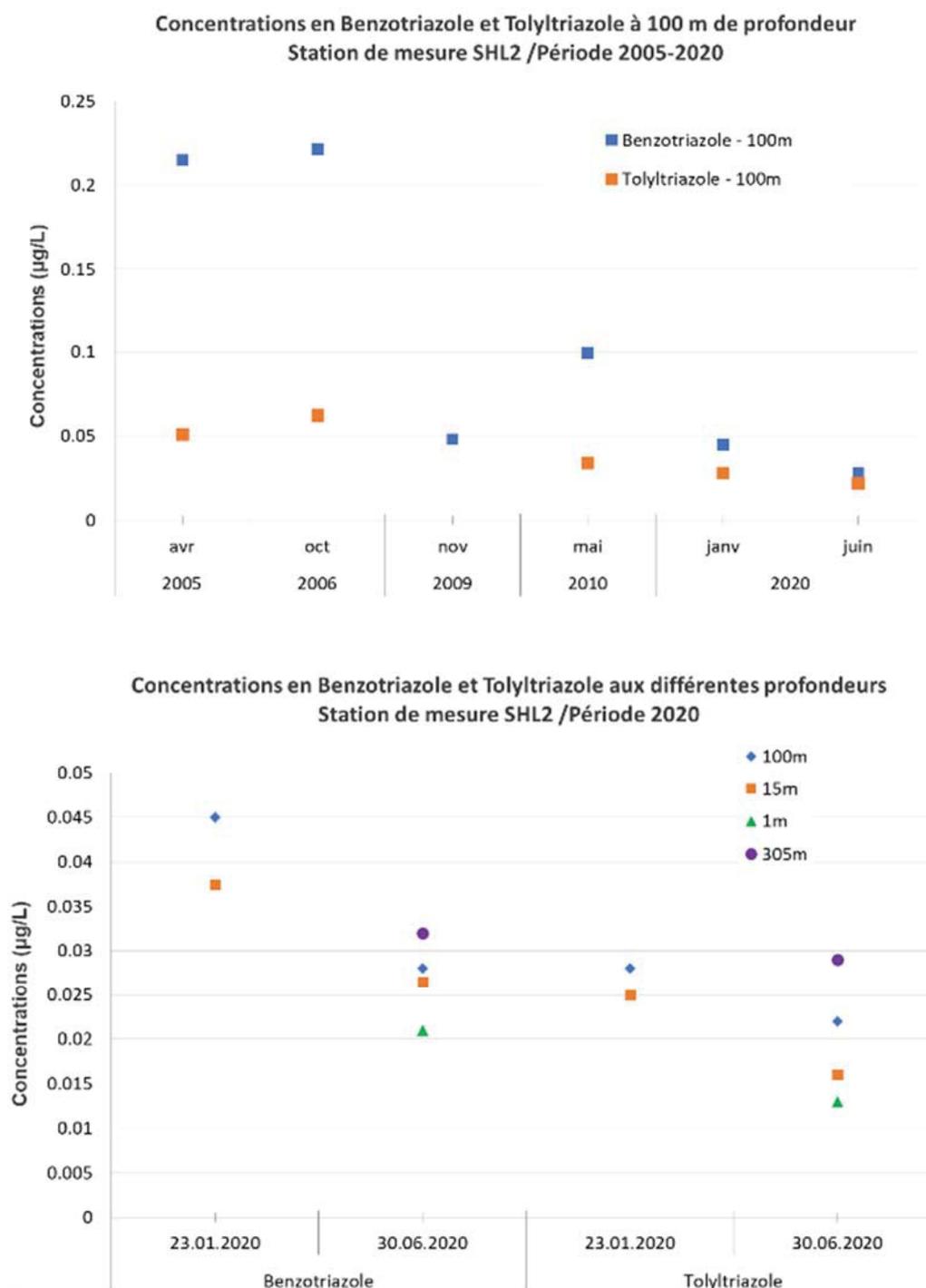


Figure 11 : Concentrations (µg/L) en Benzotriazole et Tolytriazole à SHL2

Figure 11 : Concentrations (µg/L) en Benzotriazole et Tolytriazole in SHL2

Le MTBE est un additif de l'essence remplaçant le plomb et parfois le benzène et d'autres hydrocarbures aromatiques. Il est aussi utilisé comme solvant ou comme agent d'extraction dans l'industrie. Son analyse dans les eaux du Léman a été ajoutée en 2020 et il n'a pas été détecté dans les échantillons.

5. CONCLUSIONS

Aucun dépassement des limites légales existantes n'a été mis en évidence lors du suivi des micropolluants dans les eaux du Léman à la station SHL2 en 2020.

Pour les pesticides, il sera important de suivre l'évolution des concentrations en atrazine et simazine, deux herbicides interdits en Suisse, mais toujours bien présents dans le lac avec, pour l'atrazine, une tendance à l'augmentation qui n'est, à ce jour, pas expliquée. Les normes de qualité environnementale pour certains insecticides comme les pyréthriinoïdes ou les néonicotinoïdes étant inférieures à 0.1 µg/L selon la révision de l'Ordonnance sur la Protection des Eaux (2020), il sera important de les rajouter lors de prochaines campagnes.

L'extension des analyses de médicaments à plusieurs profondeurs met en évidence des tendances et donc l'importance du choix de ces profondeurs pour les campagnes futures. La metformine reste le composé le plus présent au niveau des produits pharmaceutiques suivi par son métabolite, la Guanylylée, puis la méthénamine.

6. BIBLIOGRAPHIE

BERNARD, M. et MANGE, P. (2016) : Micropolluants dans les eaux du Rhône. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2014, p121, p155.

BERNARD, M., MANGE, P. et MAEDER, I., (2020) : Micropolluants dans les eaux du Rhône. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2019, p136.

BOURGEOIS, H., JAUSSI, M. et PRALONG, T. (2021) : Micropolluants dans les eaux du Rhône Amont. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2020.

DIRECTIVE 2008/105/CE du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008 établissant des normes de qualité environnementale dans le domaine de l'eau, modifiant et abrogeant les directives du Conseil 82/176/CEE, 83/513/CEE, 84/156/CEE, 84/491/CEE, 86/280/CEE et modifiant la directive 2000/60/CE, JO L 348 du 24.12.2008, p. 84–97

DIRECTIVE CE/98/83 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine. Journal officiel n° L 330 du 05/12/1998 p. 0032 - 0054

DGE-DIREV, Bilan 2020 de l'épuration Vaudoise, Direction générale de l'environnement (DGE), Direction de l'environnement industriel, urbain et rural (DIREV),

OEaux (1998, révision 2020) : Ordonnance du 28 octobre 1998 sur la protection des Eaux (état au 1er avril 2020) (Suisse).

ORTELLI, D., EDDER, P., RAPIN, F., RAMSEIER, S. (2011) : Métaux et micropolluants organiques dans les rivières et les eaux du Léman. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2010, 65-86.

OPBD 2016 : Ordonnance du DFI du 16 décembre 2016 sur l'eau potable et l'eau des installations de baignade et de douche accessibles au public (Suisse).

KLEIN, A., PLAGELLAT, C. (2018) , Métaux et micropolluants organiques dans les eaux du Léman, Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2017, p76.

SCHALLER T. et WEHRLI B : Geochemical-Focusing of Manganese in Lake Sediments – An indicator of Deep-Water Oxygen Conditions, Aquatic Geochemistry 2 : 359-378, 1997.

Base de données des critères de qualité du centre Ecotox : <https://www.centrecotox.ch/prestations-expert/criteres-de-qualite-environnementale/propositions-de-criteres-de-qualite/>

Base de données NQE Ineris : Ineris <https://substances.ineris.fr/fr/page/9>

7. ANNEXES

ANNEXE 1 – Liste des éléments trace métalliques

Aluminium	Cérium	Mercure	Titane
Antimoine	Chrome	Molybdène	Tungstène
Argent	Cobalt	Nickel	Uranium
Arsenic	Cuivre	Plomb	Vanadium
Baryum	Fer	Rubidium	Zinc
Bore	Gadolinium	Strontium	
Cadmium	Manganèse	Thallium	

ANNEXE 2 – Liste des pesticides recherchés

Paramètres	N° CAS	Catégorie	LOQ [µg/L]	CQE (Chronique) [µg/L]
Abamectine	71751-41-2	Insecticide	0.001	0.1 ²
Acétochlore	34256-82-1	Herbicide	0.001	0.1 ²
Amétryne	834-12-8	Herbicide	0.001	0.1 ²
Amidosulfuron	120923-37-7	Herbicide	0.001	0.1 ²
AMPA	1066-51-9	Métabolite	0.01	1500 ¹ /0.1 ²
Atrazine	1912-24-9	Herbicide	0.001	0.1 ²
Atrazine,2-hydroxy-	2163-68-0	Métabolite, Herbicide Atrazine	0.001	0.1 ²
Atrazine,Déséthyl-	6190-65-4	Métabolite, Herbicide Atrazine	0.001	0.1 ²
Atrazine,Déséthyl-2-hydroxy-	19988-24-0	Métabolite, Herbicide Atrazine	0.001	0.1 ²
Atrazine,Désisopropyl-	1007-28-9	Métabolite, Herbicide Atrazine	0.001	0.1 ²
Atrazine,Désisopropyl-2-hydroxy-	7313-54-4	Métabolite, Herbicide Atrazine	0.001	0.1 ²
Atrazine-desethyl-desisopropyl	3397-62-4	Métabolite, Herbicide Atrazine	0.001	0.1 ²
Azoxystrobine	131860-33-8	Fongicide	0.001	0.2 ¹ /0.1 ²
Bendiocarbe	22781-23-3	Insecticide	0.001	0.1 ²
Benoxacor	98730-04-2	Phytoprotecteur	0.001	0.1 ²
Bentazone	25057-89-0	Herbicide	0.001	270 ¹ /0.1 ²
Benthiavalicarb-isopropyl	177406-68-7	Fongicide	0.001	0.1 ²
Bicyclopyrone	352010-68-5	Herbicide	0.001	0.1 ²
Boscalid	188425-85-6	Fongicide	0.001	12 ¹ /0.1 ²
Buprofézine	953030-84-7	Insecticide	0.001	0.1 ²
Carbendazime	10605-21-7	Fongicide	0.001	2 ¹ /0.1 ²
Carbofuran	1563-66-2	Insecticide	0.001	0.1 ²
Chlodinafop-propargyl	105512-06-9	Insecticide	0.001	0.1 ²
Chloridazon	1698-60-8	Herbicide	0.001	10 ¹ /0.1 ²
Chlorobromuron	13360-45-7	Herbicide	0.001	0.1 ²
Chlorotoluron	15545-48-9	Herbicide	0.001	0.6 ¹ /0.1 ²
ChlorothalonilR417888		Métabolite	0.025	0.1 ²
ChlorothalonilR471811		Métabolite	0.025	0.1 ²
ChlorothalonilSYN507900		Métabolite	0.025	0.1 ²
Clofentezine	74115-24-5	Acaricide	0.001	0.1 ²
Clomazone	81777-89-1	Herbicide	0.001	0.1 ²
Cloquintocet-methyl	99607-70-2	Phytoprotecteur	0.001	0.1 ²
Cyclosulfamuron	136849-15-5	Herbicide	0.001	0.1 ²
Cycloxydime	101205-02-1	Herbicide	0.001	0.1 ²
Cyproconazole	94361-06-5	Fongicide	0.001	1.3 ¹ /0.1 ²
Cyprodinil	121552-61-2	Fongicide	0.001	0.33 ¹ /0.1 ²
Cyromazine	66215-27-8	Insecticide	0.001	0.1 ²

Paramètres	N° CAS	Catégorie	LOQ [µg/L]	CQE (Chronique) [µg/L]
Diafenthuron	80060-09-9	Insecticide	0.001	0.1 ²
Dichlorobenzamide, 2,6	2008-58-4	Métabolite, Fongicide Fluopicolide	0.001	0.1 ²
Dicrotophos	141-66-2	Insecticide	0.001	0.1 ²
Dicyclanile	112636-83-6	Insecticide	0.001	0.1 ²
Difénoconazole	119446-68-3	Fongicide	0.001	0.1 ²
Difénoxuron	14214-32-5	Herbicide	0.001	0.1 ²
Dimefuron	34205-21-5	Herbicide	0.001	0.1 ²
Diméthachlore	50563-36-5	Herbicide	0.001	0.12 ¹ /0.1 ²
Dimethoate	60-51-5	Insecticide	0.001	0.07 ¹ /0.1 ²
Diméthomorphe	110488-70-5	Fongicide	0.001	0.1 ²
Dinoseb	88-85-7	Herbicide	0.001	0.1 ²
Dinoterb	609-030-00-4	Herbicide	0.001	0.1 ²
Diuron	330-54-1	Herbicide	0.001	0.07 ²
Endosulfan sulfate	1031-07-8	Métabolite, Insecticide	0.001	0.1 ²
Epoxiconazole	133855-98-8	Fongicide	0.001	0.2 ¹ /0.1 ²
Ethiofencarbe	29973-13-5	Insecticide	0.001	0.1 ²
Éthoxysulfuron	126801-58-9	Herbicide	0.001	0.1 ²
Fenarimol	60168-88-9	Fongicide	0.001	0.1 ²
Fenhexamide	126833-17-8	Fongicide	0.001	0.1 ²
Fenpropidine	67306-00-7	Fongicide	0.001	0.1 ²
Fenpropimorphe	67564-91-4	Fongicide	0.001	0.1 ²
Fenpyrazamine	473798-59-3	Fongicide	0.001	0.1 ²
Fénuron	101-42-8	Herbicide	0.001	0.1 ²
Fluazifop-butyl	69806-50-4	Herbicide	0.001	0.1 ²
Fluazinam	79622-59-6	Fongicide	0.001	0.1 ²
Fludioxonil	131341-86-1	Fongicide	0.001	0.1 ²
Fluometuron	2164-17-2	Herbicide	0.001	0.1 ²
Fluroxypyr	69377-81-7	Herbicide	0.001	0.1 ²
Flurprimidol	56425-91-3	Régulateur de croissance	0.001	0.1 ²
Flusilazole	85509-19-9	Fongicide	0.001	0.1 ²
Foramsulfuron	173159-57-4	Herbicide	0.001	0.017 ¹ /0.1 ²
Furalaxyl	57646-30-7	Fongicide	0.001	0.1 ²
Furathiocarb	65907-30-4	Insecticide	0.001	0.1 ²
Glyphosate	1071-83-6	Herbicide	0.01	120 ¹ /0.1 ²
Hexaflumuron	86479-06-3	Insecticide	0.001	0.1 ²
Imidacloprid	138261-41-3	Insecticide	0.001	0.013 ²
Indoxacarb	144171-61-9	Insecticide	0.001	0.1 ²
Iodosulfuron-méthyl	144550-06-1	Herbicide	0.001	0.1 ²
Isoproturon	34123-59-6	Herbicide	0.001	0.64 ¹ /0.1 ²
Isopyrazam	881685-58-1	Fongicide	0.001	0.1 ²
Isoxabène	82558-50-7	Herbicide	0.001	0.1 ²
Lénacile	2164-08-1	Herbicide	0.001	0.1 ²
Linuron	330-55-2	Herbicide	0.001	0.26 ¹ /0.1 ²
Lufénurone	103055-07-8	Insecticide	0.001	0.1 ²
Mandipropamid	374726-62-2	Fongicide	0.001	3.6 ¹ /0.1 ²
Mecoprop	93-65-2	Herbicide	0.001	0.1 ²
Mépanipirim	110235-47-7	Fongicide	0.001	0.1 ²
Mésotrione	104206-82-8	Herbicide	0.001	0.1 ²
Metalaxyl	57837-19-1	Fongicide	0.001	20 ¹ /0.1 ²
Métamitrone	41394-05-2	Herbicide	0.001	4.0 ¹ /0.1 ²
Métazachlore	67129-08-2	Herbicide	0.001	0.02 ²
Methamidophos	10265-92-6	Insecticide	0.001	0.1 ²
Methidathion	950-37-8	Insecticide	0.001	0.1 ²
Methoxyfenozide	161050-58-4	Insecticide	0.001	0.086 ¹ /0.1 ²
Metobromuron	3060-89-7	Herbicide	0.001	0.1 ²

Paramètres	N° CAS	Catégorie	LOQ [µg/L]	CQE (Chronique) [µg/L]
Métolachlore	51218-45-2	Herbicide	0.001	0.69 ¹ /0.1 ²
Métribuzine	21087-64-9	Herbicide	0.001	0.1 ²
MCPA	94-74-6	Herbicide	0.001	0.058 ²
Molinate	2212-67-1	Herbicide	0.001	0.1 ²
Monolinuron	1746-81-2	Herbicide	0.001	0.1 ²
Nicosulfuron	111991-09-4	Herbicide	0.001	0.0087 ²
Orthosulfamuron	213464-77-8	Herbicide	0.001	0.1 ²
Oryzalin	19044-88-3	Herbicide	0.001	0.1 ²
Oxadixyl	77732-09-3	Fongicide	0.001	0.1 ²
Penconazole	66246-88-6	Fongicide	0.001	0.1 ²
Phosalone	2310-17-0	Insecticide	0.001	0.1 ²
Pinoxaden	243973-20-8	Herbicide	0.001	0.1 ²
Pirimicarbe	23103-98-2	Insecticide	0.001	0.09 ²
Pretilachlor	51218-49-6	Herbicide	0.001	0.1 ²
Profenofos	41198-08-7	Insecticide	0.001	0.1 ²
Prometryne	7287-19-6	Herbicide	0.001	0.1 ²
Propanil	709-98-8	Herbicide	0.001	0.1 ²
Propazine	139-40-2	Herbicide	0.001	0.1 ²
Propiconazole	60207-90-1	Fongicide	0.001	0.1 ²
Propoxur	114-26-1	Insecticide	0.001	0.1 ²
Propyzamide	23950-58-5	Herbicide	0.001	0.063 ¹ /0.1 ²
Prosulfocarb	52888-80-9	Herbicide	0.001	0.1 ²
Pymetrozine	123312-89-0	Insecticide	0.001	0.1 ²
Pyrifenox	88283-41-4	Fongicide	0.001	0.1 ²
Pyriftalide	135186-78-6	Herbicide	0.001	0.1 ²
Pyriméthanil	53112-28-0	Fongicide	0.001	0.1 ²
Sebuthylazine	7286-69-3	Herbicide	0.001	0.1 ²
Secbumeton	26259-45-0	Herbicide	0.001	0.1 ²
Simazine	122-34-9	Herbicide	0.001	0.1 ²
Simazine, 2-Hydroxy-	2599-11-3	Métabolite, Herbicide Simazine	0.001	0.1 ²
Solatenol	1072957-71-1	Fongicide	0.001	0.1 ²
Spinosad	168316-95-8	Insecticide	0.001	0.1 ²
Spiroxamine	118134-30-8	Fongicide	0.001	0.630 ¹ /0.1 ²
Sulfometuron-méthyl	74222-97-2	Herbicide	0.001	0.1 ²
Tébuconazole	107534-96-3	Fongicide	0.001	0.24 ¹ /0.1 ²
Tébufenpyrad	119168-77-3	Acaricide	0.001	0.1 ²
Tébutame	35256-85-0	Herbicide	0.001	0.1 ²
Teflubenzuron	83121-18-0	Insecticide	0.001	0.1 ²
Terbumeton	33693-04-8	Herbicide	0.001	0.1 ²
Terbuthylazine	5915-41-3	Herbicide	0.001	0.22 ¹ /0.1 ²
Terbuthylazine, Deséthyl-	30125-63-4	Métabolite, Herbicide Terbuthylazine	0.001	0.1 ²
Terbuthylazine-2-Hydroxy	66753-07-9	Métabolite, Herbicide Terbuthylazine	0.001	0.1 ²
Terbutryne	886-50-0	Herbicide	0.001	0.065 ²
Thiabendazole	148-79-8	Fongicide	0.001	0.1 ²
Thiaclopride	111988-49-9	Insecticide	0.001	0.01 ²
Thiaméthoxame	153719-23-4	Insecticide	0.001	0.042 ²
Thiobencarb	28249-77-6	Herbicide	0.001	0.1 ²
Thiocyclame	31895-21-3	Insecticide	0.001	0.1 ²
Triasulfuron	82097-50-5	Herbicide	0.001	0.1 ²
Trifloxysulfurone	145099-21-4	Herbicide	0.001	0.1 ²
Triflumuron	64628-44-0	Insecticide	0.001	0.1 ²
Trifluraline	1582-09-8	Herbicide	0.001	0.1 ²

1 : limite du centre ECOTOX

2 : limites annexe 2 OEaux, source d'eau potable

ANNEXE 3 – Liste des résidus médicamenteux recherchés

Paramètres	N° CAS	Catégorie	LOQ [$\mu\text{g/L}$]	CQE (Chronique) [$\mu\text{g/L}$]
Acide méfénamique	61-68-7	Analgésique	0.001	1.1 ¹
17-alpha-éthynylestradiol	57-63-6	Hormone de synthèse	0.005	0.000037 ¹
Atenolol	29122-68-7	Bêta-bloquant	0.001	150 ¹
Azithromycine	83905-01-5	Antibiotique	0.010	0.19 ²
Benzonatate	104-31-4	Antitussif	0.001	
Beta-estradiol	58-28-2	Hormone	0.005	0.0004 ¹
Bezafibrate	41859-67-0	Hypolipémiant	0.001	2.3 ¹
Bupivacaine	38396-39-3	Anesthésique	0.001	
Carbamazepine	298-46-4	Antiépileptique	0.001	2.0 ¹
Carisoprodol	78-44-4	Anti-douleur	0.004	
Ceftiofur	80370-57-6	Antibiotique	0.004	
Ciprofloxacine	85721-33-1	Antibiotique	0.001	0.089 ¹
Clarithromycine	81103-11-9	Antibiotique	0.010	0.120 ¹
Clindamycin	18323-44-9	Antibiotique	0.002	
Cloxacillin	61-72-3	Antibiotique	0.001	
Cocaine	50-36-2	Stupéfiant	0.001	
Codeine	76-57-3	Analgésique/ narcotique	0.001	
Deanol	108-01-0	Cosmétique/Traitement asthénie	0.100	
Dexamethason	50-02-2	Anti-inflammatoire	0.004	
Diazépam	439-14-5	Anxiolytique	0.004	
Diclofénac	15307-86-5	Analgésique	0.010	0.050 ²
Estriol	50-27-1	Hormone	0.005	
Estrone	53-16-7	Hormone	0.005	0.0036 ¹
Fénofibrate	49562-28-9	Traitement cholestérol	0.001	
Furosémide	54-31-9	Diurétique	0.004	
Guanylurée		Produit dégradation Metformine	0.050	
Gemfibrozil	25812-30-0	Hypolipémiant	0.004	
Héroïne	561-27-3	Antalgique/narcotique	0.001	
Ibuprofène	15687-27-1	Analgésique	0.004	0.011 ¹
Irbérsartan	138402-11-6	Antihypertenseur	0.004	700 ¹
Kétoprofène	22071-15-4	Analgésique	0.004	
Lorazépam	846-49-1	Anxiolytique	0.001	
Mémantine	19982-08-2	Traitement Alzheimer	0.010	
Mépipivacaine	96-88-8	Anesthésique local	0.004	
Metformine	657-24-9	Antidiabétique	0.010	160 ¹
Méthadone	76-99-3	Analgésique/ narcotique	0.004	
Méthénamine	100-97-0	Antiseptique	0.010	
Métoprolol	37350-58-6	Bêta-bloquant	0.004	8.6 ¹
Métronidazole	443-48-1	Antibiotique	0.004	
Mirtazapine	85650-52-8	Antidépresseur	0.004	
Morphine	57-27-2	Antalgique/narcotique	0.001	
Nadolol	42200-33-9	Bêta-bloquant	0.004	
Naproxène	22204-53-1	Analgésique	0.001	1.7 ¹

Paramètres	N° CAS	Catégorie	LOQ [$\mu\text{g/L}$]	CQE (Chronique) [$\mu\text{g/L}$]
Norfloxacine	70458-96-7	Antibiotique	0.001	
Oxazépam	604-75-1	Anxiolytique	0.001	
Pantoprazole	102625-70-7	Traitement Ulcère	0.001	
Paracétamol	103-90-2	Analgésique	0.001	
Pravastatine	81093-37-0	Hypolipémiant	0.001	
Prilocaine	721-50-6	Anesthésique	0.001	
Primidone	125-33-7	Analgésique	0.004	
Propranolol	525-66-6	Bêta-bloquant	0.001	0.16 ¹
Ribavirine	36791-04-5	Virostatique	0.100	
Rispéridone	106266-06-2	Antipsychotique	0.001	
Ropivacaine	84057-95-4	Anesthésiant	0.010	
Sertraline	79617-96-2	Psychotrope	0.001	
Simvastatine	79902-63-9	Hypolipémiant	0.004	
Sulfadiméthoxine	122-11-2	Antibiotique	0.004	
Sulfaméthazine	57-68-1	Antibiotique	0.001	30 ¹
Sulfaméthoxazole	723-46-6	Antibiotique	0.004	0.6 ¹
Ticlopidine	55142-85-3	Antiagrégant plaquettaire	0.001	
Torasémide	56211-40-6	Anti-Hypertenseur	0.001	
Tramadol	27203-92-5	Antalgique, narcotique	0.001	
Trimétazidine.2HCl	13171-25-0	Traitement vertige et angine poitrine	0.001	
Tylosine	1401-69-0	Bactériostatique macrolide	0.004	
Venlafaxine	93413-69-5	Antidépresseur	0.004	
Xipamide	14293-44-8	Diurétique	0.004	
Zolpidem	82626-48-0	Somnifère	0.001	

1 : limite du centre ECOTOX

2 : limites annexe 2 OEaux