



MICROPOLLUANTS

DANS LES STATIONS D'ÉPURATION VAUDOISES



MICROPOLLUANTS

DANS LES STATIONS D'ÉPURATION VAUDOISES

Préface.....	4
Résumé.....	6
Lexique.....	10
Introduction.....	12
Micropolluants en entrée de STEP.....	18
Micropolluants en sortie de STEP.....	26
Abattement des micropolluants dans les STEP.....	30
Traitement avancé des micropolluants.....	34
Impact des micropolluants urbains sur les eaux superficielles.....	42
Conclusions.....	52
Annexes.....	56







PRÉFACE



Depuis des décennies, nos eaux superficielles et souterraines sont soumises à une grande pression environnementale. Les rejets des activités industrielles, d'une population de plus en plus nombreuse et d'une agriculture parfois très intensive ont marqué la qualité de nos cours d'eau et de nos lacs. Les métaux lourds, les polluants chlorés persistants, le phosphore sont autant de substances qui, au cours de l'histoire, ont fortement contribué à la dégradation des milieux aquatiques et à l'atteinte à la biodiversité.

Lors de la deuxième moitié du 20^{ème} siècle, de nombreux pays, dont la Suisse, se sont dotés de législations et de normes environnementales qui ont permis de réduire considérablement les rejets de polluants dans les eaux. L'industrie a ainsi pris conscience de ses responsabilités et les collectivités se sont largement équipées de stations d'épuration (STEP). L'assainissement moderne était né et depuis, la situation ne cesse de s'améliorer.

Actuellement, la qualité des eaux doit toutefois faire face à une menace beaucoup plus sournoise parce que moins spectaculaire : la présence de plus en plus répandue de nombreux composés chimiques particulièrement actifs, les micropolluants organiques.

Comme le montre le présent rapport, le constat est préoccupant. Le suivi de la qualité des eaux superficielles effectué avec des équipements, certes de plus en plus performants, met en évidence que ces micropolluants et notamment les principes actifs médicamenteux se trouvent en quantité non-négligeable dans la plupart des cours d'eau, parfois largement au-dessus des normes de qualité environnementale. Nos lacs et rivières sont plus que jamais le miroir de notre société. Or, force est en

effet de constater que nous sommes bien incapables de prévoir quel peut être l'effet à court et à long terme de ce cocktail de substances sur l'environnement et la santé humaine.

Château d'eau de l'Europe avec les sources du Rhin et du Rhône, la Suisse est consciente de cet enjeu de santé publique et a décidé de déployer largement le traitement des micropolluants dans ses stations d'épuration. En 2016, elle s'est ainsi dotée d'une législation qui impose aux stations d'épuration d'une certaine taille ou déversant dans des milieux sensibles de s'équiper d'un traitement des micropolluants. Dans le canton de Vaud, la mise en œuvre du *plan micropolluants vaudois*, qui intègre également une large démarche de régionalisation des STEP, prévoit la réalisation de 16 pôles régionaux qui traiteront le 90 % des eaux usées de la population raccordée. La première station équipée d'un système de traitement des micropolluants a été inaugurée à Penthaz, en novembre 2018 et améliore de manière significative la qualité des eaux de la Venoge, une rivière symbolique pour les Vaudois.

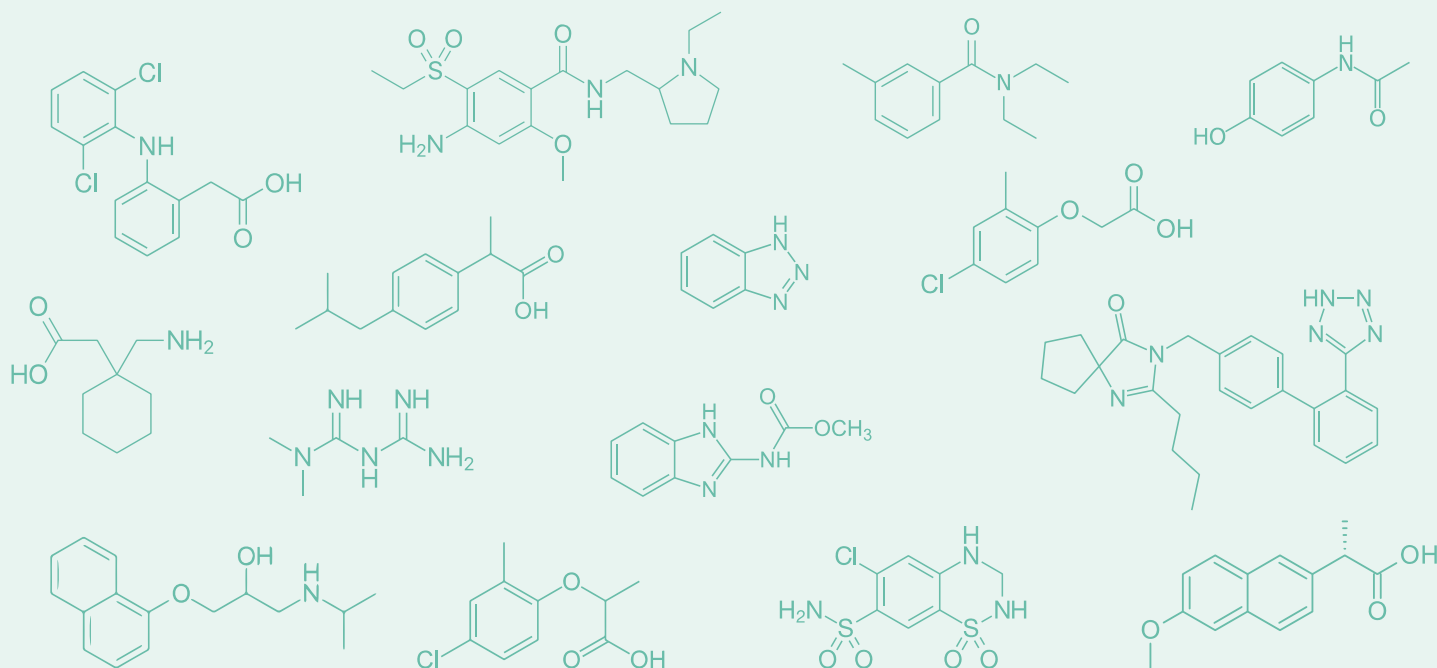
L'eau est un enjeu majeur de notre société. A l'heure où les changements climatiques nous conduisent déjà vers un arbitrage pour son usage, l'eau s'impose de plus en plus comme une ressource inestimable.

Béatrice Métraux

Conseillère d'État

Cheffe du Département de l'environnement et de la sécurité

RÉSUMÉ



Au cours des dernières années, la problématique des micropolluants dans les eaux a pris de l'importance, en raison des effets néfastes qu'ils peuvent avoir sur l'être humain et l'environnement, même en très faibles quantités. En 2016, la mise en oeuvre de traitements spécifiques dans certaines stations d'épuration (STEP) a été rendue obligatoire en Suisse suite à la modification de l'Ordonnance fédérale sur la protection des eaux (OEaux). Afin d'anticiper cette transition, la Direction générale de l'environnement du Canton de Vaud (DGE) procède depuis 2014 à l'analyse régulière de 42 micropolluants caractéristiques des eaux usées domestiques (32 médicaments, 8 pesticides et 2 produits anticorrosifs) dans 36 STEP importantes du canton, auxquelles sont raccordés 84.2 % des habitants du territoire vaudois.

Dans le cadre du plan cantonal micropolluants, la majorité de ces STEP vont devenir des pôles de traitement des micropolluants ou être raccordées à l'un d'entre eux.

Les résultats d'analyses de micropolluants, compilés de 2014 à 2019, montrent que les concentrations de micropolluants en entrée de STEP sont très variables selon la substance, allant de 10 ng/L à 100 µg/L. Les micropolluants mesurés avec les plus fortes concentrations sont le Paracétamol, la Metformine, l'Ibuprofène (médicaments) et le Benzotriazole (produit anticorrosif). Certains micropolluants, notamment les

produits anticorrosifs, sont présents en plus grandes quantités dans les STEP dont le bassin versant a une forte activité industrielle. En revanche, les hôpitaux et EMS ne semblent pas significativement influencer les concentrations en médicaments. Pour la grande majorité des substances, les charges de micropolluants arrivant aux STEP sont étroitement liées à la population raccordée, reflétant la consommation domestique.

En sortie de STEP, les micropolluants les plus concentrés sont la Metformine, le Benzotriazole et le 4- et 5-méthylbenzotriazole. En considérant les 42 substances analysées, les 36 STEP suivies reçoivent quotidiennement environ 48.6 kg de micropolluants (soit 57.9 kg si extrapolé à l'ensemble de la population vaudoise) et en rejettent 13.5 kg (soit 16.1 kg) dans les eaux superficielles.

Les micropolluants sont généralement difficilement biodégradables et peu éliminés par les traitements biologiques des STEP existantes. Toutefois, l'élimination conséquente de quelques substances particulièrement bien biodégradables et présentes en concentrations importantes (telles que le Paracétamol ou l'Ibuprofène) permet une diminution de la charge globale entre l'entrée et la sortie des STEP.



Ces substances sont significativement éliminées, en particulier par les procédés biologiques les plus aboutis, c'est-à-dire conçus pour le traitement de l'ammonium (biologies nitrifiantes).

L'efficacité d'un traitement des micropolluants est déterminée sur la base de l'abattement de 12 micropolluants cibles définis par une ordonnance du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC). Les STEP équipées d'une étape de traitement des micropolluants doivent atteindre un taux d'abattement supérieur à 80%.

À l'heure actuelle, l'abattement de ces 12 substances dans les STEP non-nitrifiantes et nitrifiantes est de respectivement 13% et 19% en moyenne. Ces valeurs sont largement insuffisantes pour respecter la norme fixée.

Il existe actuellement deux procédés permettant d'abattre les micropolluants: l'adsorption sur charbon actif et l'ozonation. Ils permettent d'atteindre les exigences de traitement mais ils diffèrent sur les aspects énergétiques ou financiers et les conditions d'exploitation.

En 2018, la STEP de Penthaz a mis en service la première installation de traitement des micropolluants du canton de Vaud, selon un procédé à charbon actif en grain. L'abattement des micropolluants cibles est depuis passé de 18% à 90% (2019).

Afin d'examiner l'impact des rejets de STEP sur les milieux récepteurs, des échantillons instantanés sont prélevés dans 18 rivières vaudoises quatre fois par année, simultanément à l'échantillonnage des micropolluants dans les STEP.



Sur certaines rivières, il existe plusieurs points de prélèvement permettant d'observer l'évolution des micropolluants au fil de l'eau. Par exemple, dans la Venoge, une augmentation importante de la concentration de ces composés est observée entre l'amont et l'aval du cours d'eau, liée aux rejets de nombreuses STEP dans la rivière et ses affluents.

L'état des rivières relatif aux micropolluants urbains est évalué grâce aux critères de qualité environnementale en exposition chronique (CQE-chronique) ou aiguë (CQE-aiguë). Ces critères donnent respectivement les concentrations moyennes et ponctuelles maximales qui ne doivent pas être dépassées au risque d'altérer significativement le milieu aquatique.

Des dépassements des CQE-chronique ont été observés dans 31 des 650 évaluations réalisées, principalement pour les médicaments Ibuprofène (15 dépassements) et Diclofénac (13 dépassements). Ces deux substances ont des CQE-chronique

très bas. Paradoxalement, les micropolluants les plus concentrés en sortie de STEP, la Metformine et le Benzotriazole, ne dépassent pas leur CQE-chronique et ne présentent ainsi pas un danger majeur pour les cours d'eau.

Sur 12'729 analyses, les CQE-aiguë de 5 micropolluants urbains ont été dépassés à 13 reprises et dans 6 cours d'eau différents. Il s'agit de 4 pesticides et d'un médicament. La présence de ces pesticides dans les cours d'eau est probablement liée aux activités agricoles dans chaque bassin versant concerné, plutôt qu'aux activités urbaines. Les dépassements ont eu lieu dans des petits cours d'eau, caractérisés par des faibles débits et une mauvaise dilution des rejets de STEP.

La mise en place d'étapes de traitement des micropolluants dans 16 STEP du canton à court et moyen terme réduira fortement les polluants urbains dans les eaux superficielles, en particulier la charge de résidus médicamenteux et de produits anticorrosifs.

Lexique

Abattement	Pourcentage de polluant éliminé dans la STEP ou par une certaine étape de traitement. Il se calcule en faisant la différence entre la valeur d'entrée et la valeur de sortie, le tout divisé par la valeur d'entrée. Exemple: s'il y a 100 mg/L de polluant en entrée et 1 mg/L de polluant en sortie, alors l'abattement est de 99%.	Déshydratation et retours de déshydratation	Procédé visant à réduire la teneur en eau des boues avant l'envoi à l'incinération. Les eaux putrides extraites pendant cette étape sont ramenées en tête de STEP pour être traitées et sont appelées retours de déshydratation.
Activité anthropogénique	Ensemble des activités humaines (artisanat, agriculture, industrie, hôpitaux, transport, etc.). Ces activités sont inévitablement liées à des sources de pollution ponctuelles ou chroniques qui ont un impact sur l'environnement et en particulier sur les eaux.	Digestion	Processus de dégradation de la matière organique par des bactéries. Ce procédé est souvent utilisé dans les STEP pour produire du biogaz et pour réduire la quantité de boues à incinérer.
Biofilm	Agrégat de bactéries qui s'attachent généralement à une surface. Le biofilm se forme dans de nombreux endroits comme sur l'émail des dents ou les pierres dans les ruisseaux. Dans le domaine des STEP, les procédés à biofilm sont dits « fixes » en opposition aux procédés « en suspension ».	EH – Equivalent-habitant	Unité conventionnelle de mesure de la pollution moyenne rejetée par habitant et par jour. Par exemple, un équivalent-habitant pour la DCO correspond à 120 g DCO par jour. On parle dans ce cas d'EH DCO.
BV	Bassin versant.	Eaux claires parasites	Eaux non polluées s'introduisant dans le réseau d'assainissement et arrivant à la STEP. Eau pluviale, eau de fontaines, mauvais raccordements de biens-fonds, rivières, sources, nappes phréatiques, etc.
CAG	Charbon actif en grain.	Eawag	Institut Fédéral Suisse des Sciences et Technologies de l'Eau.
CAP	Charbon actif en poudre.	EMS	Établissement médico-social.
Centre Écotox	Centre d'écotoxicologie pour la Suisse. Il a pour rôle d'identifier et évaluer l'impact de substances chimiques sur l'environnement (https://www.centreecotox.ch/portrait/).	FHNW	Haute école d'ingénierie du Nord-Ouest de la Suisse.
Charge	Quantité d'une substance mesurée pendant un temps défini, généralement un jour. Exemple: 10 l/j d'eau ayant une concentration en polluant de 1 g/l → la charge est de 10g/j.	Filière boues	Ensemble des procédés d'une STEP visant à réduire la quantité de boues d'épuration, c'est-à-dire les déchets récupérés dans les décanteurs primaires et secondaires, avant de les incinérer.
Charge spécifique	Charge moyenne par habitant en g/hab/j. Elle se calcule en divisant la charge par le nombre d'habitants ou d'équivalent-habitants.	Hydrophobicité / Hydrophobe	Se dit d'une molécule ou surface qui repousse l'eau ou que l'eau n'arrive pas à mouiller.
COD	Carbone organique dissous.	LEaux	Loi Fédérale sur la protection des eaux.
COT	Carbone organique total.	Lessivage	Transport des polluants par l'eau de pluie à travers le sol en direction de la nappe phréatique ou des eaux superficielles.
CQE	Critère de qualité environnementale.	Limite de détection et limite de quantification	La limite de détection est la concentration minimale qu'un appareil d'analyse peut détecter et affirmer que la substance recherchée est en effet présente. La limite de quantification est la concentration minimale qu'un appareil d'analyse peut analyser et quantifier précisément. L'intervalle entre la limite de détection et de quantification est une plage de valeurs où la présence de la substance est confirmée mais ne peut être quantifiée.
DCO	Demande chimique en oxygène.		
DGE	Direction générale de l'environnement.		
(O)DETEC	(Ordonnance du) Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication.		

Matrice	Ensemble des particules et éléments dissous dans l'eau qui constituent un échantillon. L'influence de l'environnement chimique d'un atome est appelé l'effet matrice. La matrice peut affecter la mesure des micropolluants.	STEP	Station d'épuration.
Métabolite	Molécule générée à la suite de la dégradation d'une substance par le métabolisme. Dans le cadre des micropolluants, il peut s'agir, par exemple, de la transformation de médicaments par le corps humain.	VSA	Association suisse des professionnels de la protection des eaux.
Minéralisation / minéraliser	Transformation des composés organiques complexes en composés minéraux simples et en gaz carbonique (CO ₂).		
MP	Micropolluant.		
Nitrification	Transformation par les microorganismes de l'ammonium (NH ₄ ⁺) en nitrate (NO ₃ ⁻).		
OEaux	Ordonnance sur la protection des eaux.		
OFEV	Office fédéral de l'environnement.		
OMS	Organisation mondiale de la santé.		
Période ou débit d'étiage	Débit d'un cours d'eau atteint ou dépassé pendant 347 jours par année (95 % du temps). Il correspond au débit mesuré lors des périodes de sécheresse. La période d'étiage est la période pendant laquelle le débit du cours d'eau correspond au débit d'étiage.		
Population totale équivalente	Charge d'un polluant en entrée de STEP divisée par la valeur donnée par équivalent-habitant. Exemple : La charge en DCO en entrée de STEP est de 120 kg. On divise (120 kg DCO) / (120 g DCO / jour / équivalent-habitant) = 1'000 équivalents-habitants. La population totale équivalente ne doit pas être confondue avec le nombre d'habitants. Elle comprend également les charges industrielles et artisanales.		
QR	Quotient de risque.		
Réseau unitaire / séparatif	Un réseau unitaire est un réseau d'évacuation des eaux où les eaux usées et les eaux de pluie sont mélangées et s'écoulent dans la même conduite jusqu'à la STEP. Un réseau séparatif est composé de deux conduites. L'une amène les eaux usées à la STEP tandis que l'autre déverse les eaux de pluie sans traitement dans les eaux superficielles.		

INTRODUCTION

Qu'est-ce qu'un micropolluant ?

Le mot micropolluant est un terme générique pour définir toutes les substances (molécules organiques, métaux) dont les concentrations sont de l'ordre du microgramme par litre ou plus basses, contrairement aux macropolluants (par exemple DCO, P_{tot} , NH_4^+) qui sont de l'ordre du milligramme voire du gramme par litre. Dans le présent rapport, le terme micropolluant fera uniquement référence aux substances organiques de synthèse présentes dans les eaux superficielles, souterraines et usées. Avec le constant développement de l'industrie chimique (agroalimentaire, pharmaceutique, agrochimique, ...), la diversité des micropolluants augmente considérablement. Toutefois, leur provenance n'est pas exclusivement industrielle. Nombre d'entre eux sont issus de la consommation des ménages, tels que médicaments, produits cosmétiques, produits contraceptifs, herbicides, biocides, détergents, ou de l'agriculture, comme les produits phytosanitaires.

Par la suite, ils se retrouvent dans les eaux usées et superficielles soit lorsqu'ils ne sont pas totalement assimilés par le corps (par

exemple médicaments, produits contraceptifs), soit après leur utilisation (par exemple détergents, produits cosmétiques), ou encore par ruissellement ou infiltration (par exemple produits phytosanitaires). Depuis plusieurs années, les micropolluants sont devenus un sujet majeur d'inquiétude pour les écosystèmes aquatiques et pour la santé humaine (Schwarzenbach, et al., 2006).

La présence de ces principes actifs, même en infimes quantités, n'est pas souhaitable dans les eaux superficielles et souterraines et notamment dans les eaux destinées à l'alimentation en eau potable. Ils affectent de diverses manières l'équilibre du milieu aquatique : réduction de la photosynthèse par les algues, fonction reproductrice des poissons et des amphibiens, et sont aussi à l'origine de perturbations du développement et du comportement des animaux. La présence et l'impact des principes actifs dans les eaux ne sont que peu connus. De plus, il reste de nombreuses incertitudes quant à l'effet de mélange de ces micropolluants sur la santé humaine.

Objectifs

La Direction générale de l'environnement du Canton de Vaud (DGE) effectue depuis 2014 des analyses régulières des micropolluants dans de nombreuses STEP vaudoises.

Le but de ce rapport est de comprendre, sur la base de 6 années de suivi, le comportement et l'évolution des micropolluants dans les STEP vaudoises et de donner un état de la situation avant la mise en oeuvre des mesures de traitement exigées par la modification de la Loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux et son ordonnance OEaux) entrée en vigueur en 2016. Les éléments suivants sont étudiés :

- Évaluation des concentrations et des charges en entrée de STEP et à l'échelle du bassin versant.
- Évaluation de l'impact d'eaux usées industrielles ou hospitalières sur les concentrations et charges de micropolluants.
- Évaluation des concentrations et des charges en sortie de STEP.
- Analyse des abattements dans les STEP afin de :
 - Étudier la biodégradabilité des micropolluants dans les biologies classiques sans étape de traitement des micropolluants. Au long de ce rapport, le terme « biologie » fera référence à l'ensemble du traitement biologique.

- Observer la différence entre une biologie non-nitrifiante et une biologie nitrifiante (traitement de l'azote).
- Évaluer le taux d'élimination moyen des 12 substances listées dans l'ordonnance du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC)¹ avant la mise en place des mesures de traitement.

Un aperçu des techniques de traitement avancé des micropolluants est donné, avec à titre d'exemple le cas de la STEP de Penthaz, la première STEP vaudoise à avoir mis en service ce traitement en 2018. Enfin, la présence des micropolluants d'origine urbaine dans les eaux superficielles est présentée et mise en lien avec les rejets des STEP afin d'en évaluer l'impact.

¹ Ordonnance du DETEC (814.201.231) concernant la vérification du taux d'épuration atteint avec les mesures prises pour éliminer les composés traces organiques dans les stations d'épuration des eaux usées.

Substances étudiées

Le laboratoire des eaux de la DGE analyse 42 micropolluants dans les eaux de STEP (tableau 1). Une majorité des substances analysées a été sélectionnée sur la base d'un projet de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) et de l'Institut fédéral suisse des sciences et technologies de l'eau (Eawag) datant de 2011².

Par la suite, des critères tels que la difficulté d'analyser certaines substances, leur présence dans les eaux usées et la détection d'autres substances par les autres cantons ou instituts ont permis d'affiner la liste.

Tableau 1 - Micropolluants analysés dans les échantillons prélevés. Les 12 substances indicatrices selon l'ordonnance du DETEC sont indiquées par les caractères (*).

Médicaments			Pesticides	Produits anticorrosifs
Antibiotiques	Analgésiques	Autres		
Acétylsulfaméthoxazole	Acétamidoantipyrine (métabolite du Paracétamol)	Amisulpride (*)	Carbendazime	4- et 5-méthylbenzotriazole (*)
Clarithromycine (*)	Acide méfénamique	Aténolol	DEET	Benzotriazole (*)
Clindamycine	Diclofénac (*)	Béazafibrate	Diazinon	
Sulfaméthazine	Ibuprofène	Candésartan (*)	Diméthoate	
Sulfaméthoxazole (métabolite de l'Acétylsulfaméthoxazole)	Kétoprofène	Carbamazépine (*)	Diuron	
Sulfapyridine	Naproxène	Citalopram (*)	Isoproturon	
Triméthoprim	Paracétamol	Gabapentine	MCPA	
		Gemfibrozile	Mécoprop	
		Hydrochlorothiazide (*)		
		Irbésartan (*)		
		Metformine		
		Métoprolol (*)		
		Mirtazapine		
		Pravastatine		
		Primidone		
		Propranolol		
		Sotalol		
		Venlafaxine (*)		

² https://www.centreecotox.ch/media/25545/beurteilungskonzept_f.pdf, consulté le 04.03.2021.

STEP suivies

Les prélèvements sont effectués dans 36 STEP principales du canton se trouvant dans 4 bassins versants (BV), ceux du lac de Morat, du lac de Neuchâtel, du Léman et de la Sarine. La répartition de ces STEP est représentée sur la figure 1. Les échantillons sont prélevés 4 fois par année, si possible tous les 3 mois, en entrée et sortie de STEP.

Il s'agit d'échantillons cumulés sur 24 heures. Les prélèvements sont programmés à l'avance, ce qui implique qu'ils peuvent avoir lieu aléatoirement par temps sec ou temps de pluie. A la STEP de Penthaz, depuis la mise en service de l'étape de traitement des micropolluants en octobre 2018, les échantillons sont prélevés sur une période de 48h, 12 fois par an, comme prescrit par l'OEaux.

Figure 1 - Localisation des STEP vaudoises avec prélèvements de micropolluants.

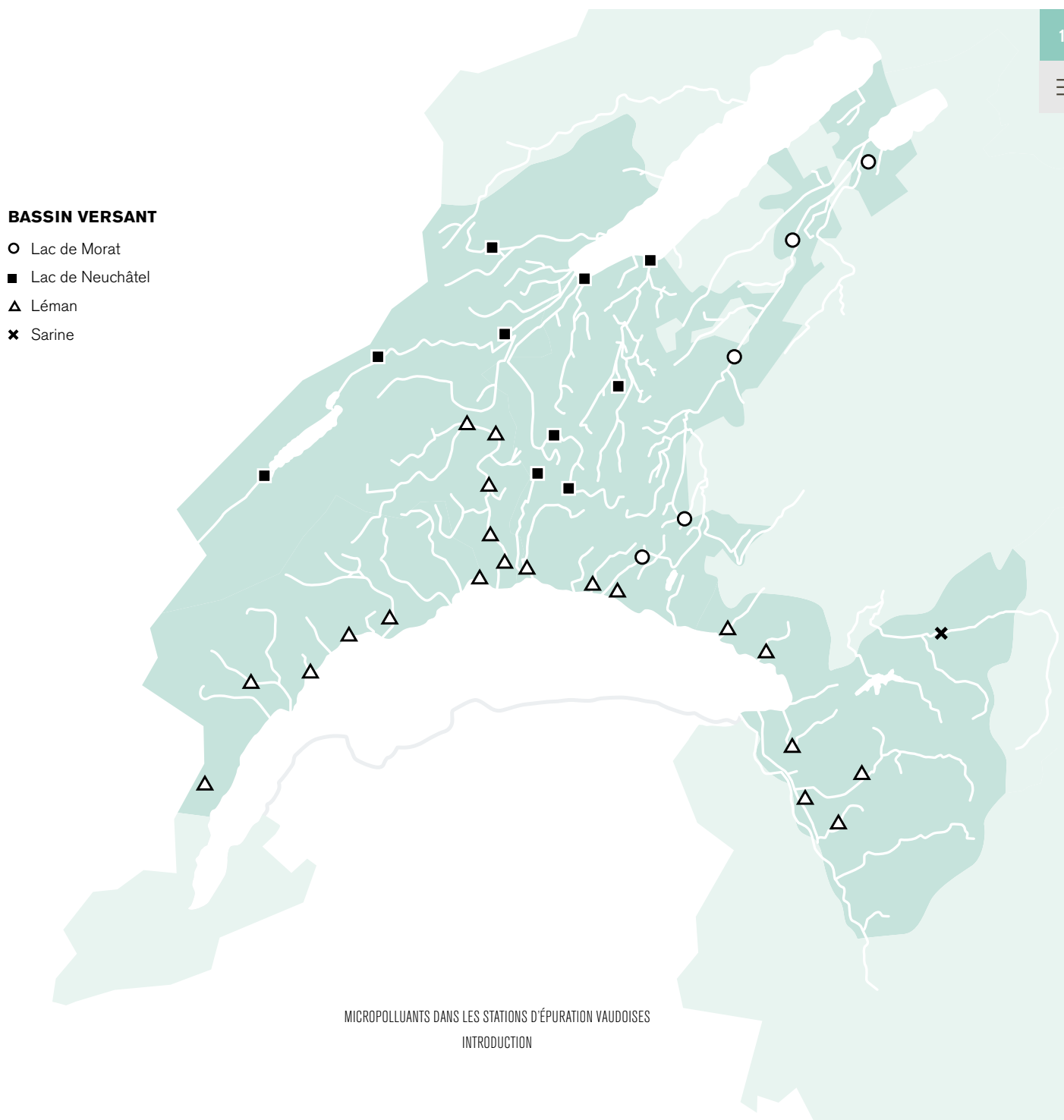


Tableau 2 - STEP dans lesquelles les prélèvements micropolluants sont effectués.

STEP	Bassin versant	Population totale équivalente (2019)	Avenir selon planification 2016 ³
Aigle	Léman	18'262	Pôle micropolluants
Aubonne	Léman	5'212	Pôle micropolluants
Avenches	Lac de Morat	6'932	Pôle micropolluants
Bercher	Lac de Neuchâtel	2'517	Subsistera sans traitement
Bioley-Orjulaz	Lac de Neuchâtel	3'476	Subsistera sans traitement
Bremblens	Léman	7'487	Subsistera sans traitement
Bretigny-sur-Morrens	Lac de Neuchâtel	4'921	Subsistera sans traitement
Bussigny	Léman	11'796	Raccordée à la STEP de Lausanne en juillet 2020
Château-d'Oex	Sarine	3'533	Subsistera sans traitement
Commugny	Léman	22'243	Pôle micropolluants
Echallens	Lac de Neuchâtel	10'074	Pôle micropolluants
Eclépens	Léman	1'597	À raccorder à un pôle
Gland	Léman	35'471	À raccorder à un pôle
La Sarraz	Léman	3'751	Pôle micropolluants
Lausanne	Léman	237'543	Pôle micropolluants
Le Chenit	Lac de Neuchâtel	5'448	Subsistera sans traitement
Leysin	Léman	3'760	À raccorder à un pôle
Lucens	Lac de Morat	56'041	Pôle micropolluants
Lutry	Léman	10'713	Subsistera sans traitement
Montreux	Léman	42'682	À raccorder à un pôle
Morges	Léman	39'300	Pôle micropolluants
Nyon	Léman	33'006	À raccorder à un pôle
Ollon	Léman	7'552	À raccorder à un pôle
Orbe	Lac de Neuchâtel	19'525	Pôle micropolluants
Payerne	Lac de Morat	13'984	Pôle micropolluants
Penthaz	Léman	13'145	Pôle micropolluants
Pully	Léman	22'455	Pôle micropolluants
Roche	Léman	12'275	À raccorder à un pôle
Rolle	Léman	12'767	À raccorder à un pôle
Sainte-Croix	Lac de Neuchâtel	5'187	Subsistera sans traitement
Savigny	Lac de Morat	3'554	Subsistera sans traitement
Servion	Lac de Morat	2'358	Subsistera sans traitement
Vallorbe	Lac de Neuchâtel	3'823	Subsistera sans traitement
Vevey	Léman	61'150	À raccorder à un pôle
Yverdon	Lac de Neuchâtel	55'656	Pôle micropolluants
Yvonand	Lac de Neuchâtel	3'908	Subsistera sans traitement

3 https://www.vd.ch/fileadmin/user_upload/themes/environnement/eau/fichiers_pdf/DIREV_PRE/DGE-PRE_201604_Planification-Micropolluants.pdf

La plupart des STEP suivies deviendront ou seront intégrées à des pôles régionaux traitant les micropolluants. La charge polluante (population totale équivalente) ainsi que l'avenir de ces STEP en l'état actuel de la planification sont résumés dans le tableau 2.

Le tableau 3 présente les caractéristiques des bassins versants des STEP suivies. L'influence des différentes caractéristiques des eaux usées produites dans le bassin versant sur la production potentielle de micropolluants est appréciée

(■ forte, ■ moyenne, ■ faible). Cette appréciation est basée sur les activités industrielles et artisanales, et sur la présence d'hôpitaux / cliniques de soins aigus et d'établissements médicaux-sociaux (EMS) dans le bassin versant de la STEP. L'ampleur des activités industrielles et artisanales est évaluée de manière globale, sans tenir compte du type d'activité ni des liens possibles entre ces activités et les micropolluants étudiés, qui sont complexes à établir. Les informations sur les établissements de soins médicaux sont tirées du guichet cartographique de l'Etat de Vaud. L'appréciation est relative;

Tableau 3 - Population raccordée et description du bassin versant des STEP.

STEP	Habitants raccordés (2019)	Population totale équivalente (2019)	Activité industrielle / artisanale	Hôpitaux / EMS dans le bassin versant	Proportion d'eaux claires parasites
Aigle	10'102	18'262	Moyenne	1 hôpital, 1 EMS	Moyenne
Aubonne	5'212	5'212	Moyenne	2 hôpitaux, 1 EMS	Moyenne
Avenches	4'919	6'932	Moyenne	1 EMS	Moyenne
Bercher	2'084	2'517	Faible	1 EMS	Moyenne
Bioley-Orjulaz	3'476	3'476	Faible	-	Faible
Bremblens	5'027	7'487	Moyenne	-	Moyenne
Bretigny-sur-Morrens	4'921	4'921	Faible	-	Faible
Bussigny	11'796	11'796	Moyenne	1 EMS	Moyenne
Château-d'Oex	2'846	3'533	Faible	1 hôpital, 3 EMS	Forte
Commugny	22'243	22'243	Faible	2 EMS	Moyenne
Echallens	8'319	10'074	Faible	1 EMS	Moyenne
Eclépens	1'205	1'597	Forte	-	Moyenne
Gland	35'471	35'471	Faible	3 hôpitaux, 3 EMS	Moyenne
La Sarraz	3'751	3'751	Faible	1 hôpital, 2 EMS	Moyenne
Lausanne	237'543	237'543	Forte	Nombreux	Moyenne
Le Chenit	4'643	5'448	Forte	1 hôpital, 1 EMS	Forte
Leysin	3'760	3'760	Faible	2 EMS	Forte
Lucens	18'133	56'041	Forte	4 EMS	Faible
Lutry	10'713	10'713	Faible	4 EMS	Moyenne
Montreux	40'881	42'682	Faible	6 hôpitaux, 12 EMS	Moyenne
Morges	36'111	39'300	Faible	1 hôpital, 6 EMS	Moyenne
Nyon	25'370	33'006	Moyenne	3 hôpitaux, 2 EMS	Moyenne
Ollon	7'552	7'552	Faible	-	Forte
Orbe	9'569	19'525	Forte	1 hôpital, 1 EMS	Moyenne
Payerne	11'029	13'984	Moyenne	1 hôpital, 1 EMS	Moyenne
Penthaz	12'215	13'145	Moyenne	1 EMS	Moyenne
Pully	22'455	22'455	Faible	4 EMS	Moyenne
Roche	9'961	12'275	Moyenne	1 hôpital, 1 EMS	Moyenne
Rolle	10'363	12'767	Moyenne	1 hôpital, 3 EMS	Moyenne
Sainte-Croix	4'686	5'187	Moyenne	1 hôpital, 1 EMS	Forte
Savigny	3'150	3'554	Faible	-	Moyenne
Servion	2'358	2'358	Faible	-	Moyenne
Vallorbe	3'823	3'823	Moyenne	-	Forte
Vevey	52'594	61'150	Faible	3 hôpitaux, 11 EMS	Moyenne
Yverdon	35'414	55'656	Forte	3 hôpitaux, 6 EMS	Moyenne
Yvonand	3'424	3'908	Moyenne	1 EMS	Moyenne

elle tient compte de la taille du bassin versant. La proportion d'eaux claires parasites est évaluée à titre indicatif; elle est susceptible de diluer les concentrations de micropolluants (mais n'influence pas les charges). A noter que la répartition des centres de soins a changé durant la période d'étude, avec la mise en service en 2019 de l'Hôpital Riviera-Chablais, dans le bassin versant de la STEP de Roche. Cette modification étant intervenue à la fin de la période étudiée, l'impact ne peut être évalué dans ce rapport. Il est important de relever qu'un certain nombre d'entreprises, d'industries ou d'autres

entités rejettent des micropolluants spécifiques à leurs activités qui ne sont pas inclus dans le programme de suivi. L'impact des industries ne peut donc pas être précisé sur la base des micropolluants analysés dans cette étude. Il existe en effet des milliers de substances et seules quelques substances représentatives, présentes dans l'ensemble des STEP, sont analysées. Les méthodes de traitement qui vont être mises en places sont également efficaces pour l'élimination de ces micropolluants industriels.

MICROPOLLUANTS EN ENTRÉE DE STEP

Aperçu général

Concentrations et charges en entrée de STEP

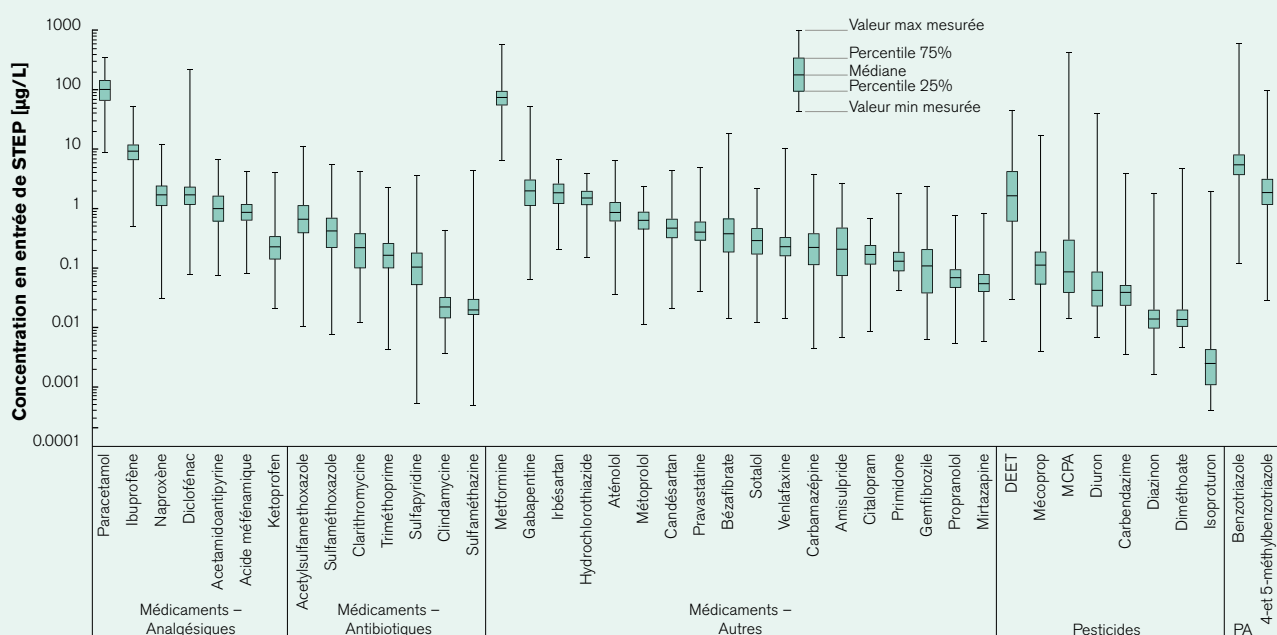
La concentration médiane de la grande majorité des micropolluants oscille entre 0.1 et 1 µg/l en entrée de STEP. Les valeurs moyennes sont présentées en annexe 1. Les concentrations en micropolluants sont assez variables selon leur type. La figure 2 montre que les micropolluants les plus concentrés dans l'ensemble du canton (> 5 µg/L) sont le Paracétamol, la Metformine, l'Ibuprofène (médicaments) et le Benzotriazole (produit anticorrosif). A contrario, les concentrations en Isoproturon, Diazinon et Diméthoate (pesticides) sont particulièrement faibles (valeur médiane < 10 ng/l). Les raisons pouvant expliquer des concentrations élevées ou faibles sont a priori les suivantes :

- impact de la consommation / utilisation de médicaments par la population. De nombreux médicaments contenant les substances actives retrouvées en grande concentration sont en vente libre (Paracétamol, Ibuprofène);
- présence d'industries dans le bassin versant. Les concentrations de micropolluants étant de l'ordre du microgramme par litre, une quantité minime d'un produit déversé dans le réseau peut déjà générer une concentration importante;

- qualité du réseau. Un **réseau en séparatif** aura moins d'eaux claires, supposées sans micropolluants, qu'un **réseau unitaire**. Lorsqu'il y a moins d'eaux claires, la dilution est moindre et la concentration en micropolluants plus élevée. Au vu du nombre de prélèvements considérés (24 par STEP), l'influence des conditions de prélèvement (temps sec, temps de pluie) sur les résultats ne semble pas être déterminante.

D'une manière générale, les concentrations en entrée de STEP pour un micropolluant donné ne varient que peu d'une STEP à l'autre. Les boîtes, soit la partie entre le percentile 25 et 75 % sur la figure 2, sont de petite taille ce qui signifie que l'écart entre les concentrations est comparable pour la plupart des STEP. Les concentrations et les charges moyennes pour chaque micropolluant et chaque STEP sont décrites respectivement en annexe 1 et annexe 2.

Figure 2 - Concentration des différents micropolluants en entrée de STEP pour l'ensemble des STEP vaudoises suivies sur la période 2014-2019 [µg/L]. Axe des concentrations représenté sous forme logarithmique. PA = Produits anticorrosifs.



Répartition des charges par bassins versants

Seules les principales STEP ont fait l'objet d'analyses des micropolluants, les charges ne sont donc pas totalement représentatives des bassins versants, les petites STEP n'étant pas concernées par l'étude.

La population raccordée aux STEP analysées représente 84.2 % de la population totale. Par bassin versant, cette proportion oscille entre 63.7 % (BV du lac de Neuchâtel) et 89.5 % (BV du Léman) (tableau 4).

Tableau 4 - Proportion de population raccordée et des équivalents-habitants DCO entre les STEP avec analyses micropolluants et l'ensemble des STEP vaudoises.

	Léman	Lac de Neuchâtel	Lac de Morat	Sarine	Total
Nombre d'habitants total raccordés en 2019	628'741 (100%)	126'529 (100%)	56'429 (100%)	4'336 (100%)	816'035 (100%)
Nombre d'habitants raccordés aux STEP analysées en 2019	564'325 (89.8%)	80'539 (63.7%)	39'589 (70.2%)	2'846 (65.6%)	687'299 (84.2%)
Nombre d'EH DCO total en 2019	674'420 (100%)	166'623 (100%)	105'347 (100%)	7'070 (100%)	953'280 (100%)
Nombre d'EH DCO dans les STEP analysées en 2019	602'167 (89.3%)	114'535 (68.7%)	82'689 (78.5%)	3'533 (50.0%)	802'924 (84.2%)

Tableau 5 - Charge en entrée de STEP et charges spécifiques.

	Léman	Lac de Neuchâtel	Lac de Morat	Sarine	Total
Charge totale dans les STEP analysées [g/j]	39'845	6'172	2'379	250.2	48'645
Charge totale estimée pour toutes les STEP [g/j]	44'393	9'696	3'390	381.2	57'860
Charge spécifique par habitant [mg/hab/j]	70.6	76.6	60.1	87.9	70.8
Charge spécifique par équivalent-habitant [mg/EH DCO/j]	66.2	53.9	28.8	70.8	60.6

Tableau 6 - Répartition des charges en micropolluants par bassin versant. Moyenne % $\pm$ écart-type.

	Léman	Lac de Neuchâtel	Lac de Morat	Sarine
Ensemble des substances	81.5 $\pm$ 4.8 %	12.5 $\pm$ 3.5 %	5.5 $\pm$ 2.8 %	0.5 $\pm$ 0.2 %
Par catégorie de micropolluant	Médicaments - Analgésiques	84.5 $\pm$ 4.0 %	10.6 $\pm$ 3.1 %	4.4 $\pm$ 1.0 %
	Médicaments - Antibiotiques	84.9 $\pm$ 2.1 %	9.7 $\pm$ 1.6 %	5.0 $\pm$ 2.0 %
	Médicaments - Autres	80.4 $\pm$ 2.8 %	13.8 $\pm$ 2.1 %	5.2 $\pm$ 1.4 %
	Pesticides	79.8 $\pm$ 7.7 %	12.1 $\pm$ 5.0 %	7.7 $\pm$ 5.3 %
	Produits anticorrosifs	75.3 $\pm$ 0.4 %	18.6 $\pm$ 2.3 %	5.7 $\pm$ 2.0 %

L'analyse de la charge totale de micropolluants par bassin versant révèle que le bassin versant du Léman est le plus « chargé » au niveau vaudois (39'845 g/j), le reste étant réparti entre les bassins versants du lac de Neuchâtel (6'172 g/j), du lac de Morat (2'379 g/j) et de la Sarine (250 g/j) (tableau 5). Les valeurs pour chaque micropolluant sont présentées dans l'annexe 3. Afin de déterminer les charges que cela représenterait pour l'ensemble des STEP (tableau 5), le calcul suivant a été effectué :

$$\text{charge estimée pour toutes les STEP} = \frac{\text{charge STEP analysées}}{\text{proportion de population raccordée à une STEP analysée}}$$

Les charges par bassin versant ont été rapportées à la population raccordée et à la population totale équivalente (EH DCO) dans le tableau 5 afin de calculer les charges spécifiques. La répartition des charges de micropolluants est globalement semblable à la répartition de la population. La relation des charges de micropolluants avec la population totale équivalente est moins évidente, notamment pour les bassins versants des lacs de Neuchâtel et de Morat. Les industries présentes dans ces bassins versants rejettent des eaux moins chargées en micropolluants que les industries présentes dans le bassin versant du Léman. Il est plus difficile d'extrapoler les valeurs pour le bassin versant de la Sarine car seule la moitié de la population totale équivalente est réellement suivie par les analyses micropolluants.

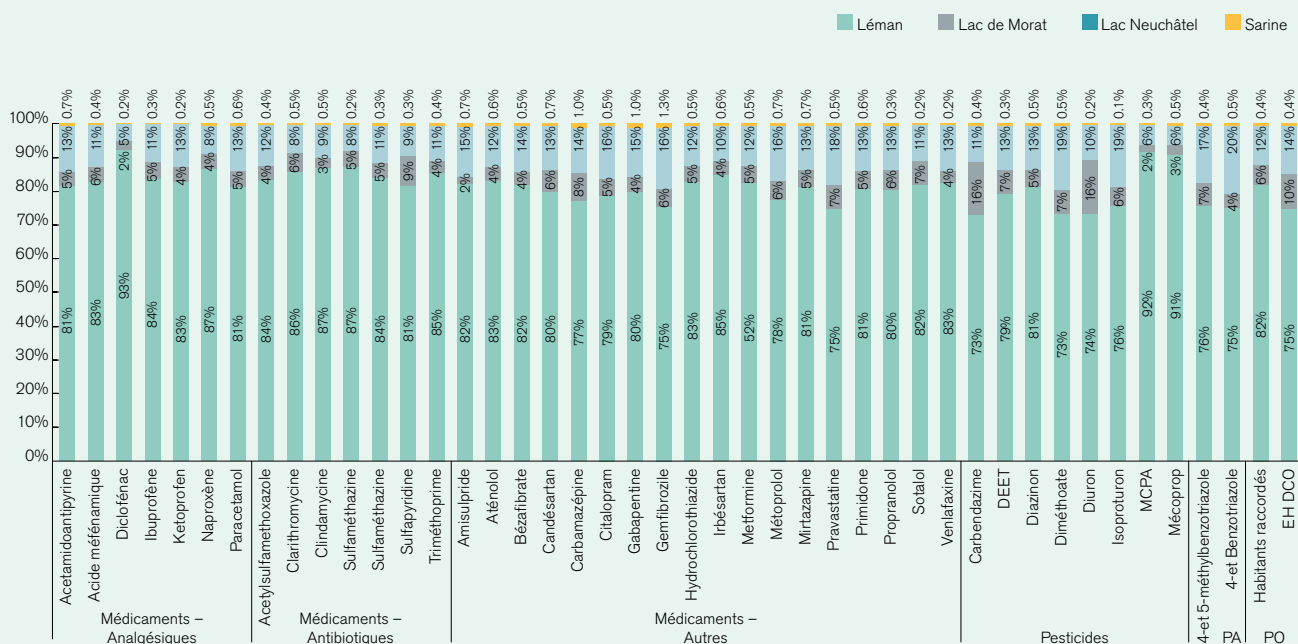
La répartition des charges par bassin versant a ensuite été étudiée plus en détail, d'abord par catégorie (tableau 6), puis par micropolluant (figure 3).

La répartition des médicaments et des pesticides diffère peu par rapport à la répartition de la population. En revanche, les charges en produits anticorrosifs sont proportionnellement plus élevées (18.6%) dans le bassin versant du lac de Neuchâtel que dans les autres bassins versants.

D'autre part, des écart-types élevés sont observés pour les pesticides, suggérant une variabilité importante. Ce constat peut s'expliquer par le fait que la plupart des micropolluants de cette catégorie sont présents en faible quantité dans les eaux usées, ce qui signifie qu'il y a peu d'utilisateurs. Par conséquent, les résultats sont plus aléatoires et susceptibles d'être variables.

La proportion en médicaments – analgésiques et antibiotiques – est légèrement supérieure à la proportion de la population (+2.5 à +3%) pour le bassin versant du Léman tandis qu'elle est légèrement inférieure (-2 à -3%) pour celui du lac de Neuchâtel. La répartition des centres de soins pourrait expliquer cette différence sensible. L'analyse détaillée par STEP (annexe 1) montre toutefois que la contribution des hôpitaux et EMS aux concentrations et charges de médicaments est difficilement observable, ce qui suggère que ce ne sont pas ces établissements qui rejettent la majeure partie de ces micropolluants.

Figure 3 - Proportion de la charge de micropolluants en entrée de chaque STEP en fonction du bassin versant.
PA = Produits anticorrosifs. PO = Population.



Concentrations et charges en entrée de chaque catégorie de micropolluants

Les micropolluants urbains analysés peuvent être classés en différentes catégories, en fonction du but de leur utilisation, comme présenté dans le tableau 1. Chaque catégorie de micropolluants a été analysée séparément afin de tenter d'établir un lien entre les activités artisanales, industrielles et hospitalières présentes dans les bassins versants et les concentrations mesurées en entrée de chaque STEP. Il est difficile de démontrer des corrélations claires entre les activités et les fortes concentrations de certains micropolluants.

Par exemple, il ne semble pas que les STEP situées dans des bassins versants comportant de nombreux hôpitaux et EMS reçoivent des eaux plus concentrées en médicaments. Les résidus de médicaments sont en effet majoritairement générés par la population. En revanche, les STEP recevant beaucoup d'eaux claires parasites (Château-d'Oex, Leysin, Ollon, Vallorbe) ont des concentrations plus faibles de micropolluants qui sont ainsi dilués dans un plus grand volume d'eau que dans d'autres STEP.

Médicaments – Analgésiques

Les analgésiques ou antalgiques sont des médicaments qui visent à réduire ou prévenir la douleur. Ils sont également souvent administrés en cas de fièvre. Ce type de médicaments fait partie des plus prescrits et, par conséquent, des plus consommés. Ils sont également en vente libre et donc consommés plus facilement par la population. La répartition de leur concentration est similaire dans la plupart des STEP,

avec beaucoup de Paracétamol, un peu d'Ibuprofène et de Diclofénac (figure 4). Seule la STEP de Nyon diffère réellement de par la présence d'une grande industrie pharmaceutique produisant un médicament à base de Diclofénac. Un prétraitement par ozonation sur le site de l'industrie a été mis en service en 2019. Des analyses faites depuis ont montré une réduction significative des concentrations.

Médicaments – Antibiotiques

Les antibiotiques sont des médicaments qui visent à réduire ou éliminer la croissance bactérienne. Ils sont consommés tant par les humains que par les animaux. Leur utilisation généralisée induit des problèmes de résistance bactérienne, considérée comme une des plus grandes menaces pour la santé mondiale selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS)⁴. Les STEP ont dès lors un rôle primordial à jouer dans ce contexte. Elles concentrent les gènes de bactéries résistantes provenant des hôpitaux et des privés, promouvant le transfert de gènes

résistants à des bactéries non-résistantes. De plus, la présence d'antibiotiques dans les eaux usées pourrait également contribuer à sélectionner les bactéries résistantes (Karkman, Do, Walsh, & Virta, 2018).

Les concentrations en antibiotiques sont assez variables d'une STEP à l'autre mais ne semblent pas directement corrélées à des infrastructures sanitaires (figure 5).

⁴ <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/antibiotic-resistance>, consulté le 11.06.2020.

Figure 4 - Concentrations moyennes cumulées des micropolluants de type « Médicaments - Analgésiques ».

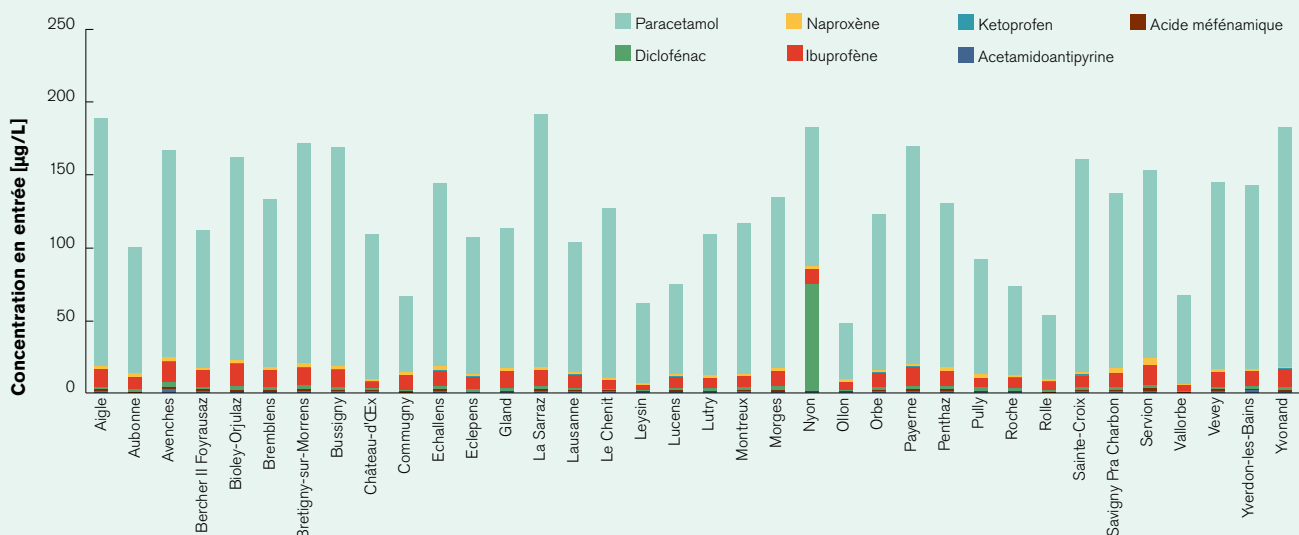


Figure 5 - Concentrations moyennes cumulées des micropolluants de type « Médicaments - Antibiotiques ».

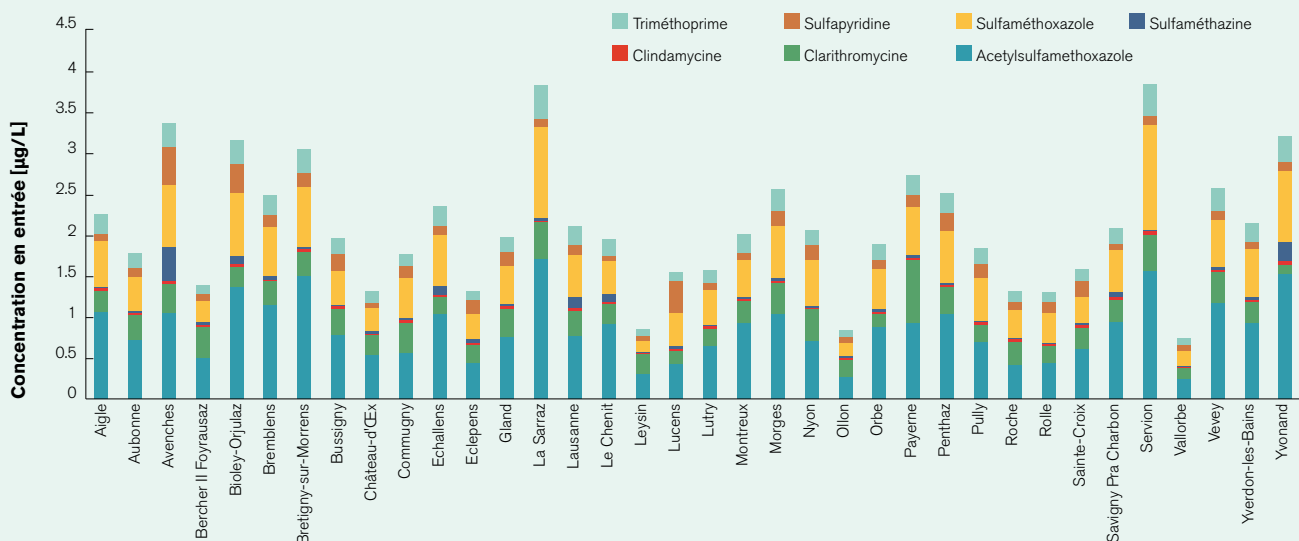
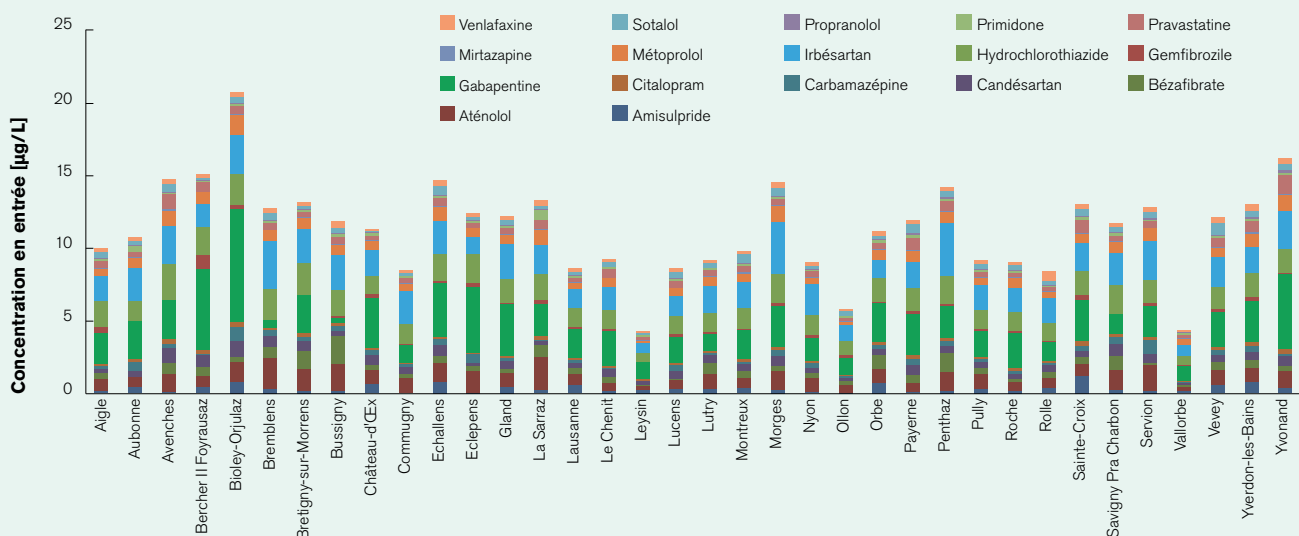


Figure 6 - Concentrations moyennes cumulées des micropolluants de type « Médicaments - Autres ».

La Metformine est détaillée sur la figure 7 car sa concentration est significativement plus élevée que celle des autres médicaments.



Médicaments – Autres

La catégorie des médicaments « Autres » comprend divers médicaments tels que des antidépresseurs, antidiabétiques, antiépileptiques, hypolipémiants (médicament visant à réduire les graisses et le cholestérol dans le sang) ou encore bêta-bloquants (médicament pour les troubles cardiaques tels que l'hypertension artérielle, l'angine de poitrine ou l'insuffisance cardiaque).

Le profil de concentrations cumulées de chaque STEP est semblable (figure 6). La Metformine est un antidiabétique (spécifiquement, type II) mais est également souvent utilisé en tant que coupe-faim. Elle fait partie des médicaments les plus vendus en Suisse. Étant donné ses concentrations largement plus élevées que celles des autres micropolluants, elle est présentée sur un graphique séparé. (figure 7).

Pesticides

Les pesticides ont pour but de combattre les maladies et d'éliminer différents types d'organismes tels que les mauvaises herbes ou les insectes nuisibles. De nombreux pesticides utilisés pour l'agriculture entrent dans la catégorie « micropolluants ». Cependant, ils ne font pas l'objet du présent rapport, hormis certaines substances utilisées par les ménages ou pour l'entretien des espaces verts urbains qui sont susceptibles de se retrouver dans les réseaux d'évacuation des eaux usées.

Les 8 substances pesticides analysées dans les STEP proviennent de :

- produits phytosanitaires : Diméthoate, Diuron, Isoproturon, MCPA, Mécoprop ;
- biocides : Carbendazime, DEET, Diuron, Isoproturon.

Les profils de répartition des concentrations cumulées sont variés (figure 8). Les STEP recevant beaucoup d'eaux claires parasites ont des concentrations en pesticides plutôt faibles. Les STEP situées en régions plus agricoles (Bercher, Bioley-Orjulaz, Bremlens, Bretigny-sur-Morrens, La Sarraz, Penthaz) ont des concentrations plus importantes. La STEP d'Eclépens reçoit significativement plus de MCPA que toutes les autres STEP. Le MCPA est un herbicide spécifique utilisé dans les cultures et les pâturages mais également pour les pelouses et jardins de particuliers.

Les analyses sont réalisées sur des eaux usées urbaines et ne reflètent donc pas l'usage agricole de produits phytosanitaires plus large.

Produits anticorrosifs

Les produits anticorrosifs visent à limiter la corrosion, notamment dans les systèmes de refroidissement. Parmi eux, le Benzotriazole est répandu et utilisé pour de nombreuses applications. Il fait partie de certains procédés industriels d'usinage de pièces. Les produits de dégraissage utilisés par les entreprises horlogères et les détergents utilisés par les établissements hospitaliers en contiennent aussi. Sa présence dans les produits pour lave-vaisselle utilisés

dans les ménages explique le « bruit de fond » observé dans toutes les STEP. Les concentrations cumulées sont semblables pour la plupart des STEP (figure 9), sauf celles d'Avenches, Bussigny, Eclépens, Le Chenit et Orbe qui ont des concentrations plus élevées. Ces STEP reçoivent des quantités significatives d'eaux usées industrielles. Des investigations supplémentaires seraient nécessaires pour établir des liens avec les activités et entreprises.

Figure 7 - Concentration moyenne en Metformine.



Figure 8 - Concentrations moyennes cumulées des micropolluants de type « Pesticides ».

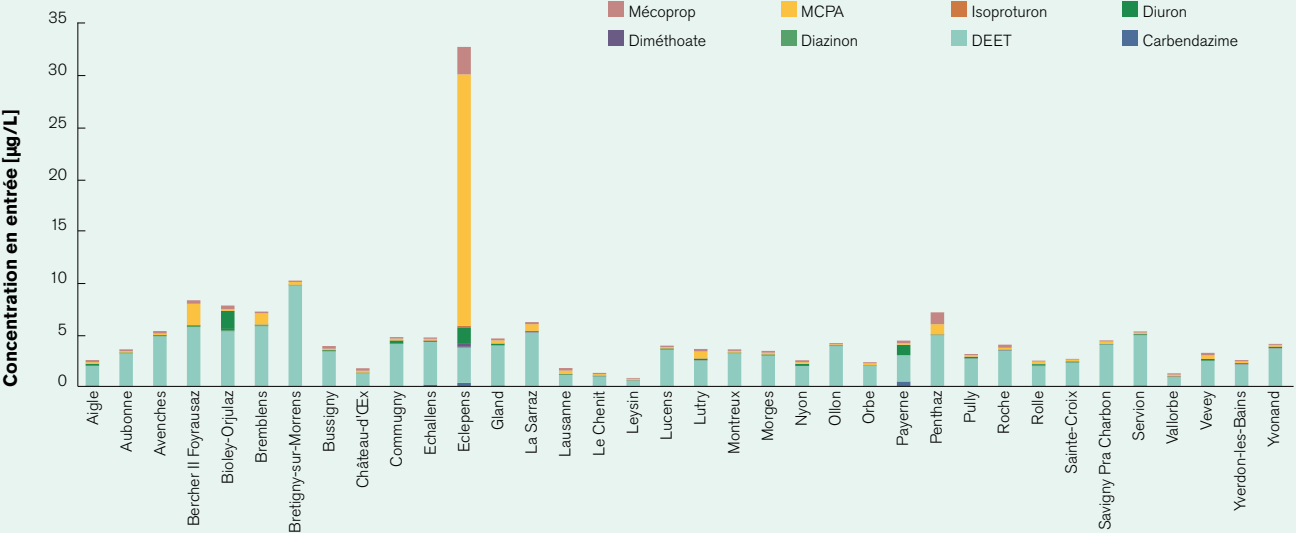
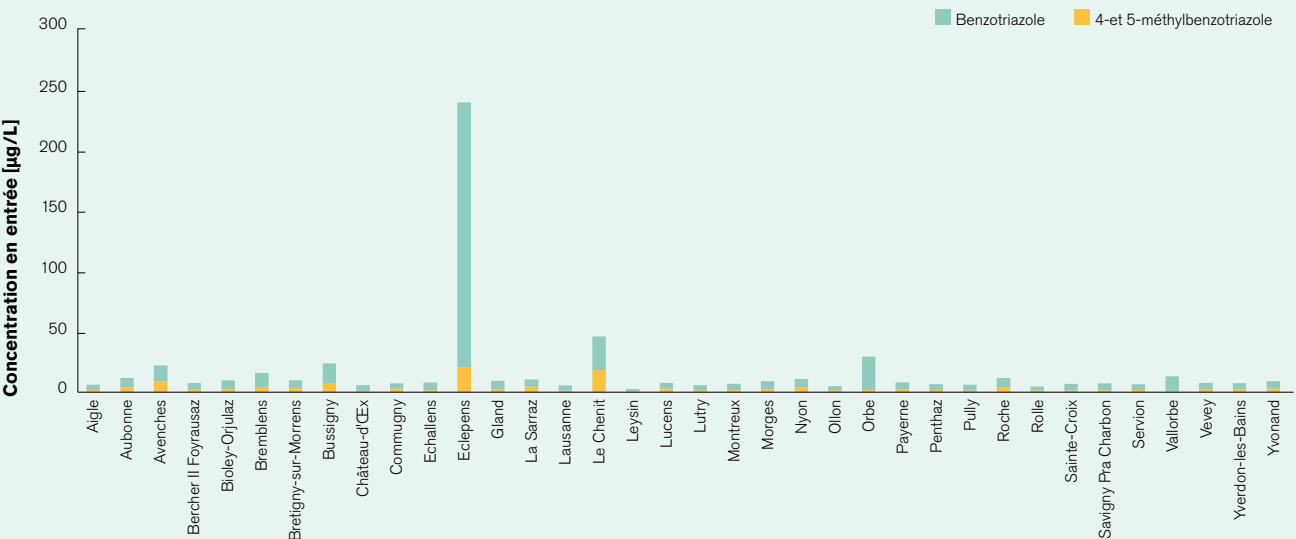


Figure 9 - Concentrations moyennes cumulées des micropolluants de type « Produits anticorrosifs ».



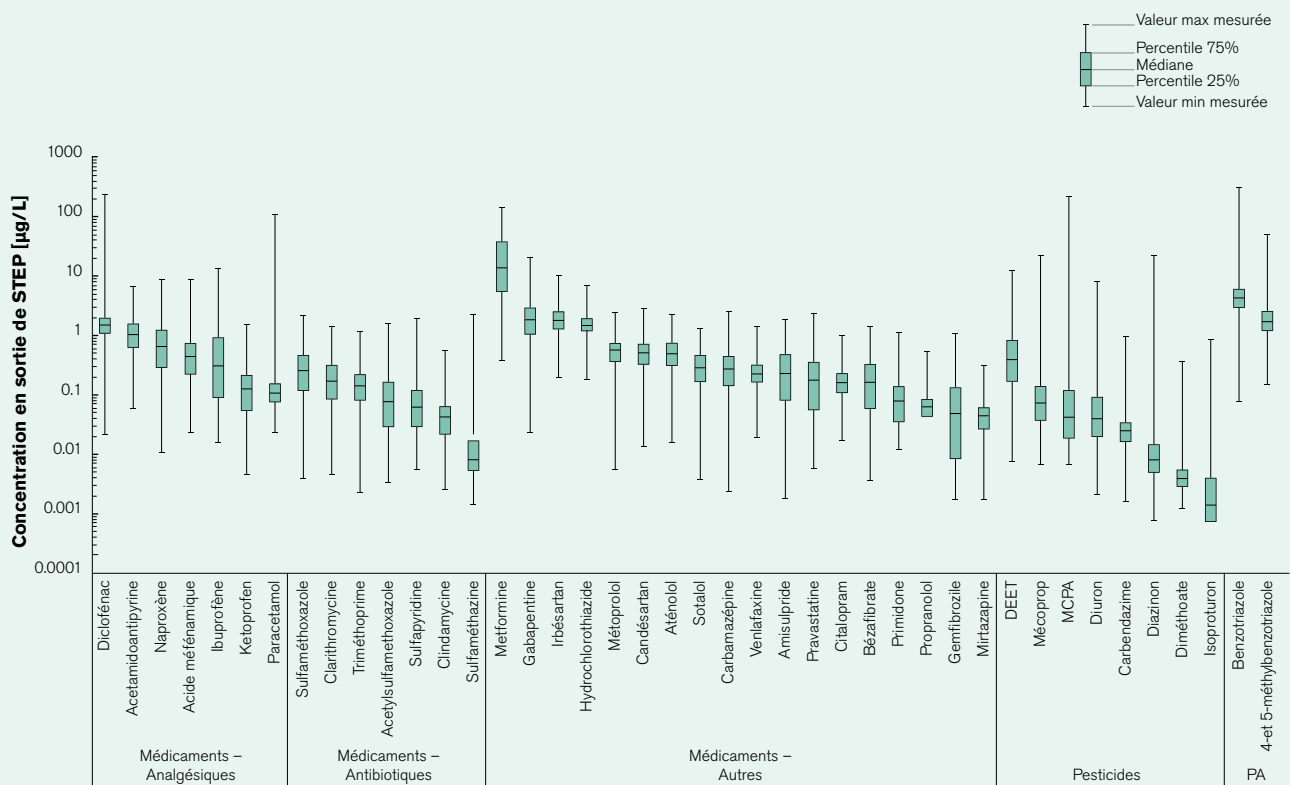
MICROPOLLUANTS EN SORTIE DE STEP

Concentrations en sortie

La figure 10 montre que les micropolluants les plus présents en sortie des STEP vaudoises sont la Metformine, le Benzotriazole, 4- et 5-méthylbenzotriazole, la Gabapentine, l'Irbésartan, l'Hydrochlorothiazide et le Diclofénac. Tous dépassent en valeur médiane les 1 µg/L. Le Paracétamol et l'Ibuprofène qui sont très concentrés en entrée sont bien

dégradés dans les STEP (voir « Abatement des micropolluants dans les STEP ») et ne sont observés qu'en faible concentration en sortie. Excepté pour ces deux micropolluants, les concentrations en sortie sont généralement relativement proches de celles en entrée. Les valeurs de concentrations moyennes pour chaque STEP et micropolluant se trouvent à l'annexe 7.

Figure 10 - Concentration des différents micropolluants en sortie de STEP pour l'ensemble des STEP vaudoises suivies sur la période 2014-2019 [µg/L]. Axe des concentrations représenté sous forme logarithmique. PA = Produits Anticorrosifs.



Charges en sortie

La charge totale en sortie des STEP analysées est de 13.5 kg/j, soit 19.6 mg/hab/j (tableau 7). Cela correspond à 27.8% de la charge totale en entrée (48.6 kg/j soit 70.7 mg/hab/j). Cette réduction de la charge entre l'entrée et la sortie des STEP est fortement liée à l'abattement de substances très biodégradables et fortement concentrées en entrée (Paracétamol et Ibuprofène).

La majeure partie de la charge en sortie est due à la Metformine (56.5 % de la charge totale). Le Benzotriazole (8.4 %), le Diclofénac (6.1 %), le 4- et 5-méthylbenzotriazole (3.3 %) et la Gabapentine (3.1 %) sont également prépondérants. Les moyennes des charges en sortie de chaque STEP pour chaque micropolluant se trouvent en annexe 8. Les STEP des grandes villes sont associées aux charges les plus élevées.



Tableau 7 - Charge moyenne en sortie de STEP [g/j] de chaque micropolluant. Le pourcentage donné entre parenthèses correspond à la proportion de la charge d'un micropolluant donné par rapport à la charge totale.

Micropolluant		Charge totale en sortie des STEP analysées [g / j]		Charge totale en sortie des STEP par habitant [mg / hab / j]
Médicaments – Analgésiques	Acetamidoantipyrine	253.9	(1.9 %)	0.37
	Acide méfénamique	139.6	(1.0 %)	0.20
	Diclofénac	826.9	(6.1 %)	1.20
	Ibuprofène	295.7	(2.2 %)	0.43
	Ketoprofen	41.1	(0.3 %)	0.06
	Naproxène	228.7	(1.7 %)	0.33
	Paracetamol	66.8	(0.5 %)	0.10
Médicaments – Antibiotiques	Acetylsulfamethoxazole	28.1	(0.2 %)	0.04
	Clarithromycine	52.7	(0.4 %)	0.08
	Clindamycine	11.3	(0.1 %)	0.02
	Sulfaméthazine	12.6	(0.1 %)	0.02
	Sulfaméthoxazole	85	(0.6 %)	0.12
	Sulfapyridine	19.7	(0.1 %)	0.03
	Triméthoprim	38.4	(0.3 %)	0.06
Médicaments – Autres	Amisulpride	87.3	(0.6 %)	0.13
	Aténolol	134.7	(1.0 %)	0.20
	Bézafibrate	56.2	(0.4 %)	0.08
	Candésartan	97.8	(0.7 %)	0.14
	Carbamazépine	51.7	(0.4 %)	0.08
	Citalopram	35.4	(0.3 %)	0.05
	Gabapentine	424	(3.1 %)	0.62
	Gemfibrozile	20.3	(0.2 %)	0.03
	Hydrochlorothiazide	288.8	(2.1 %)	0.42
	Irbésartan	351	(2.6 %)	0.51
	Metformine	7'605.8	(56.5 %)	11.1
	Métoprolol	108.7	(0.8 %)	0.16
	Mirtazapine	11.4	(0.1 %)	0.02
	Pravastatine	60.5	(0.4 %)	0.09
	Primidone	18.3	(0.1 %)	0.03
	Propranolol	15.1	(0.1 %)	0.02
	Sotalol	68.2	(0.5 %)	0.10
	Venlafaxine	52.5	(0.4 %)	0.08
Pesticides	Carbendazime	7.9	(0.1 %)	0.01
	DEET	170.1	(1.3 %)	0.25
	Diazinon	4.2	(0.03 %)	0.01
	Diméthoate	1.9	(0.01 %)	0.003
	Diuron	22.5	(0.2 %)	0.03
	Isoproturon	1.4	(0.01 %)	0.002
	MCPA	33.5	(0.2 %)	0.05
	Mécoprop	59.0	(0.4 %)	0.09
Produits anticorrosifs	4-et 5-méthylbenzotriazole	443.6	(3.3 %)	0.65
	Benzotriazole	1138.2	(8.4 %)	1.66
Somme		13'471	(100 %)	19.6

ABATTEMENT DES MICROPOLLUANTS DANS LES STEP

Abattement général des micropolluants

Les micropolluants sont généralement peu éliminés dans les étapes de traitement biologique classiques car ils sont difficilement biodégradables. La figure 11 montre l'abattement des différents micropolluants. Les mieux éliminés sont le Paracétamol, l'Ibuprofène et l'Acétylsulfaméthoxazole avec des valeurs d'abattement médianes supérieures à 75 %. Plusieurs micropolluants (Acetamidantipyrine, Candésartan, Carbamazépine, Clindamycine, Hydrochlorothiazide, Irbésartan, Sotalol et Venlafaxine) sont particulièrement récalcitrants avec des abattements inférieurs à 20 % dans plus de 75 % des analyses. Ces faibles rendements correspondent aux observations de la littérature (Margot, et al., 2013). L'abattement moyen pour chaque micropolluant et STEP se trouve en annexe 9.

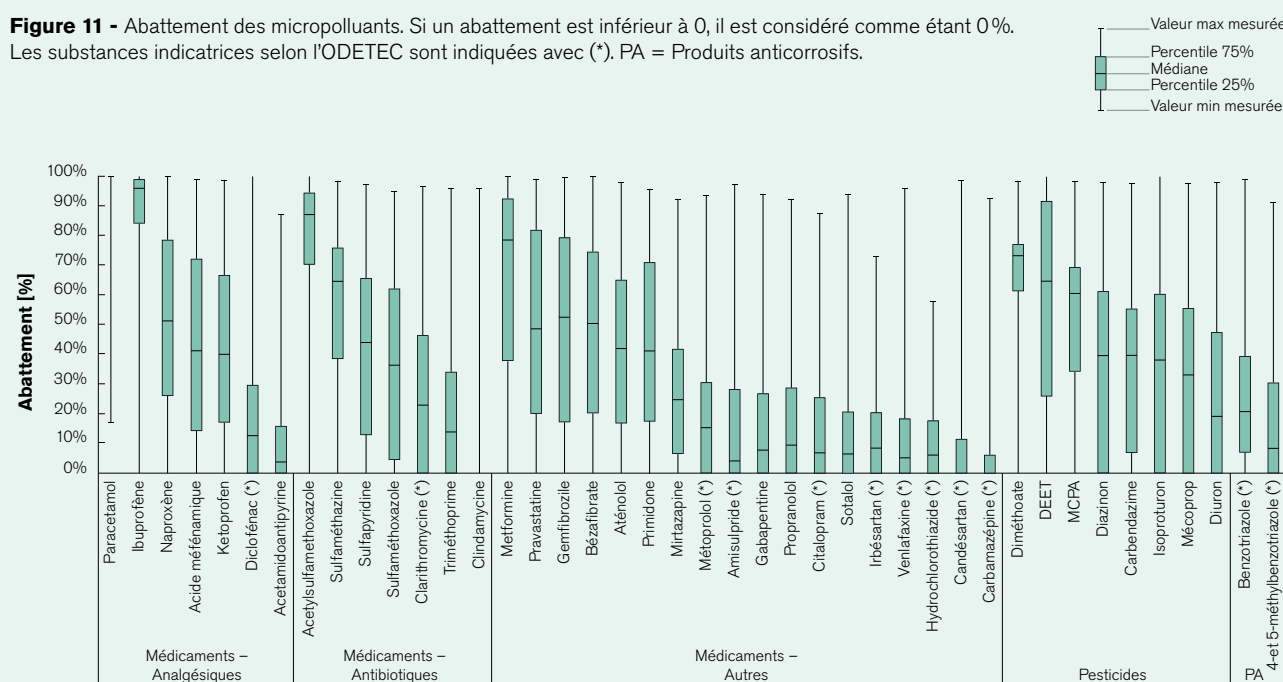
De manière générale, les 12 micropolluants indicateurs selon l'ODETEC (4- et 5-méthylbenzotriazole, Amisulpride, Benzotriazole, Candésartan, Carbamazépine, Citalopram, Clarithromycine, Diclofénac, Hydrochlorothiazide, Irbésartan, Métoprolol, Venlafaxine) sont mal dégradés dans une STEP sans traitement tertiaire. Dans plus de 75 % des cas, l'abattement de ces substances ne dépasse pas 40 %.

Pour calculer l'abattement, les rendements négatifs ont été considérés comme étant 0, car il est supposé qu'il n'y a pas d'ajout ou de création de micropolluant au sein de la STEP. Toutefois, il est possible que la concentration de certains micropolluants, notamment certains produits pharmaceutiques, augmente entre l'entrée et la sortie de la STEP. Ce phénomène peut s'expliquer ainsi :

1. les produits adsorbés sur de la matière organique particulaire sont relâchés dans l'étape de traitement biologique (Margot, et al., 2013) ;
2. la détection de certaines de ces molécules est sujette à des incertitudes analytiques (Margot, et al., 2013) ;
3. le temps de séjour de l'eau dans les bassins crée un décalage entre l'échantillonnage en entrée et en sortie. Cela peut entraîner une différence de concentration sans qu'il y ait eu transformation du micropolluant ;
4. les concentrations dans l'échantillon d'entrée ont tendance à être sous-estimées (Association suisse des professionnels de la protection des eaux)⁵.

⁵ <https://micropoll.ch/fr/Médiathèque/strategie-dechantillonnage-pour-les-petites-step/>, consulté le 04.03.2021.

Figure 11 - Abattement des micropolluants. Si un abattement est inférieur à 0, il est considéré comme étant 0 %. Les substances indicatrices selon l'ODETEC sont indiquées avec (*). PA = Produits anticorrosifs.



Différence entre STEP nitrifiantes et non nitrifiantes

Le but d'une STEP est d'éliminer la pollution organique. Dans certains cas (taille des bassins et temps de séjour de l'eau dans les bassins suffisants), la STEP peut également traiter la pollution azotée (ammonium) grâce à des bactéries spécifiques. On parle alors de STEP effectuant la nitrification (STEP nitrifiantes). La nitrification a un impact positif sur l'abatement des micropolluants dans les bassins biologiques. La figure 12 montre que tous les micropolluants sont en moyenne mieux abattus par des biologies nitrifiantes que non-nitrifiantes.

La différence entre l'abatement d'un micropolluant avec et sans nitrification est en moyenne de 14.0%. L'amélioration de l'abatement des micropolluants lors de la nitrification est principalement due à un temps de séjour de l'eau plus long dans le bassin. D'autre part, la communauté microbienne qui nitrifie est différente de celle qui ne dégrade que la pollution carbonée. Ces bactéries ont une activité enzymatique qui favorise la destruction de certains micropolluants (Margot, et al., 2013). Les valeurs exactes de moyennes et d'écart-types pour chaque micropolluant se trouvent en annexe 10.

Figure 12 - Comparaison de l'abatement des micropolluants en fonction de la nitrification ou de la non-nitrification par la biologie.



Abattement des micropolluants spécifiques à l'ODETEC

L'abattement moyen pour les STEP vaudoises est de 15.4% (figure 13) pour les 12 substances indicatrices selon l'ODETEC, listées dans « Abattement général des micropolluants ». Les résultats ne prennent pas en compte les analyses de la STEP de Penthaz depuis la mise en place de son étape de traitement des micropolluants.

Les STEP qui nitrifient ont un abattement nettement supérieur (19.5 %) à celui des STEP qui ne nitrifient pas (13.1 %). Toutefois, dans les deux cas, l'abattement moyen est très loin d'atteindre l'exigence de 80 % fixée dans l'OEaux.

Figure 13 - Abattement global pour les 12 substances indicatrices selon l'ODETEC pour chaque STEP entre 2016 et 2019.



TRAITEMENT AVANCÉ DES MICROPOLLUANTS

Techniques de traitement des micropolluants

Ozone

Formation de l'ozone et procédé de réaction

L'ozone (O_3) est un gaz au pouvoir d'oxydation très élevé qui s'attaque aux micropolluants pour les fragmenter en sous-produits généralement moins récalcitrants et beaucoup plus biodégradables. L'ozone est injecté dans un réacteur hermétique où il réagit avec les micropolluants puis l'eau ainsi traitée passe à travers un filtre à sable dans lequel se trouve un **biofilm**. Les bactéries présentes dans ce filtre assimilent les fragments de micropolluants restants avant que l'eau soit rejetée dans le milieu naturel.

L'ozone étant hautement réactif et dangereux, il ne peut pas être stocké et doit être formé sur le site de la STEP. Pour le générer, de l'oxygène liquide est stocké puis transféré dans un générateur d'ozone dans lequel il subit des décharges électriques. Ce processus d'électrisation est particulièrement énergivore, 90% de l'énergie utilisée étant perdue sous forme de chaleur. L'ozone est ensuite dirigé dans les réacteurs d'ozonation où il est mélangé aux eaux usées.

L'air pollué du réacteur contenant l'ozone résiduel doit être traité avant d'être libéré dans l'atmosphère car il représente un danger pour les personnes à proximité⁶. Le procédé d'ozonation nécessite entre 0.03 et 0.1 kWh/m³ et produit ~25 g CO₂/m³.

Molécules ciblées par l'ozone

L'ozonation est très efficace pour la dégradation de micropolluants organiques tels que les pesticides et les produits pharmaceutiques. Les antibiotiques sont particulièrement réactifs à l'ozone. Les tensioactifs (par exemple, les détergents, produits ménagers, savons) ont une réactivité parfois limitée à l'ozone (Ikehata, Gamal El-Din, & Snyder, 2008). De manière générale, les oxydants ciblent plus spécifiquement les composés aromatiques, les organosulfures et les amines déprotonées (Lee &

Von Gunten, 2010). Quand l'ozone ne détruit pas complètement les groupes fonctionnels cibles des micropolluants, il permet au moins de réduire l'activité biologique de la molécule (par exemple composés à œstrogène ou antimicrobiens) (Hollender, et al., 2009).

Efficacité de l'ozone

La capacité d'un micropolluant à être éliminé dépend de sa réactivité à l'ozone (k_{O_3}) et/ou aux hydroxyles $OH^\cdot$ ($k_{OH^\cdot}$). Plus ces valeurs sont élevées, plus le micropolluant sera éliminé facilement (Lee, et al., 2013). Pour des doses de > 1.0 g O_3 /g COD, on obtient des taux d'élimination de 100% pour tous les composés avec des k_{O_3} supérieurs à 10 [M⁻¹ s⁻¹]. Pour ceux dont le k_{O_3} est inférieur à 10 [M⁻¹ s⁻¹], il faut compter au moins 1.5 g O_3 /g COD pour avoir un taux d'élimination de 80%. Dans les faits, on utilise des concentrations de l'ordre de 0.4 à 0.7 g O_3 /g COD. Un traitement à l'ozone n'est donc pas suffisamment efficace pour certains composés.

De plus, l'ozone cible également les virus et les bactéries présents dans l'eau avant qu'elle ne soit rejetée dans le milieu naturel. Par conséquent, l'ozonation peut contribuer à la désinfection.

Limitation du procédé d'ozonation

Comme l'ozone est une molécule très réactive, elle oxyde aussi les substances organiques carbonées (COD/DCO/COT) et azotées (NO₂⁻). Par conséquent, une dose d'ozone plus élevée est nécessaire quand des charges organiques résiduelles sont présentes. Concernant les molécules azotées, l'ozone cible spécifiquement le nitrite (NO₂⁻), qui réagit très rapidement. Par contre, l'ammonium (NH₄⁺) réagit également avec l'ozone mais lentement et sa présence est négligeable sur la quantité d'ozone nécessaire⁷.

⁶ <https://micropoll.ch/fr/technique-de-traitements/ozone/ozone-procedures/>, consulté le 04.03.2021.

⁷ <https://micropoll.ch/fr/Médiathèque/apercu-des-procedes-destines-au-traitement-biologique-complementaire-lors-de-lozonation/>, consulté le 04.03.2021.

Formation de sous-produits indésirables

En présence de certaines molécules, la réaction avec l'ozone peut former des sous-produits particulièrement nocifs pour l'environnement et la santé. Il s'agit des composés suivants :

- **bromates (BrO_3^-)** : les bromates sont formés à la suite de l'oxydation des bromures et sont potentiellement cancérigènes. Ils sont générés lorsqu'une dose élevée d'ozone est injectée ou si la concentration en bromures est importante. Étant inertes dans l'environnement, il faut empêcher au maximum leur formation ;
- **nitrosamine (par ex : NDMA)** : la formation de ce type de molécules résulte de l'oxydation de certains micropolluants mais elle est à l'heure actuelle encore peu comprise. Ces produits sont cancérigènes et leur génération doit être évitée. Toutefois, facilement biodégradables, ils peuvent partiellement être éliminés en condition aérobie (e.g. dans le filtre à sable suivant l'ozonation ou dans l'environnement) ;

- **chrome (VI)** : le chrome (VI) résulte de l'oxydation du chrome (III) et est potentiellement cancérigène. Ce sous-produit est peu problématique car les concentrations en chrome (III) dans les eaux usées sont faibles et la génération de chrome (VI) est lente ;
- **autres produits ?** : il existe de nombreux sous-produits générés par l'ozone qui ne sont pas nécessairement identifiés. Ainsi, avant la mise en place d'une ozonation, il est important d'effectuer des bio-essais (par mise en contact des eaux ozonées avec différentes organismes (bactéries, algues, poissons, etc.)) pour déterminer l'écotoxicité des sous-produits.

La formation de ces sous-produits doit être impérativement évitée (Art.6 LEaux, interdiction de polluer). Pour ce faire, le VSA recommande la vérification de plusieurs paramètres pour les STEP souhaitant s'équiper d'un traitement à l'ozone⁸.

Charbon actif (CA)

Généralités

Formation du CA

Le CA est produit à partir de houille, lignite, bois, écorces ou noyaux⁹. Il doit être activé pour pouvoir être utilisé. L'activation peut être effectuée avec du gaz (oxygène, azote, argon) ou par un procédé chimique. Les différents paramètres liés à l'activation (temps de séjour, type de gaz, quantité de gaz, température, etc.) influencent la qualité du charbon actif. Elle permet de générer des trous, des canaux ou des fosses au sein de la particule de CA, ce qui augmente sa surface d'adsorption (surface spécifique). Le charbon actif est composé de trois types de pores : macropores (>50 nm), mésopores (2 à 50 nm) et micropores (< 2 nm). Une part importante de mésopores augmente l'efficacité pour l'abatement des micropolluants.

Il existe deux types de charbon actif : le charbon actif en poudre (CAP) et le charbon actif en grain (CAG). Ils se distinguent principalement par leur taille. Pour le CAP, 95 % des particules ont un diamètre < 0.15 mm tandis que les particules de CAG mesurent entre 0.5 et 2.5 mm de diamètre. Seul le CAG peut être régénéré alors que le CAP doit être envoyé dans la **filière boue** pour être finalement incinéré. Quand le CAG est réactivé, une partie est transformée en CAP.

Molécules ciblées par le CA et efficacité du CA

Le charbon actif cible préférentiellement les molécules chargées positivement et hydrophobes. L'**hydrophobicité** de la molécule, définie par le paramètre chimique $\log(D_{ow})$, joue un rôle plus important que la charge électrique. Quelle que soit la charge de la molécule, si son $\log(D_{ow})$ est supérieur à 2, le micropolluant sera abattu à plus de 80 % (Margot, et al., 2013). De plus, si la molécule est positivement chargée, alors elle sera presque systématiquement adsorbée. Les variations de pH ont une influence sur l'efficacité du charbon actif puisque les molécules perdent ou gagnent un ion H^+ qui les chargent ou déchargent électriquement. Plus le pH est bas, plus le charbon actif devrait être efficace.

Une dose de 10 à 20 mg/L de charbon actif en poudre est supposée suffisante pour éliminer la plupart des micropolluants (Margot, et al., 2013). Les composés chargés plus négativement nécessitent des doses supérieures pour être adsorbés, voire seulement partiellement adsorbés (Hollender, et al., 2009). En plus des micropolluants, le charbon actif permet également d'adsorber un certain nombre de métaux lourds tels que le fer, le chrome, le zinc ou le plomb (Margot, et al., 2013). En général, l'unité mg CA / mg COD est utilisée pour définir la dose de charbon actif nécessaire et dans ce cas, une dose de 1 à 2 mg CAP / mg COD est recommandée¹⁰. Plus le COD est faible, moins il y a de concurrence entre les micropolluants et la **matrice**, ce qui réduit d'autant plus le dosage nécessaire.

8 https://micropoll.ch/wp-content/uploads/2020/07/2017_VSA_E_Verifications-relatives-a-lad_f.pdf, consulté le 04.03.2021.

9 https://micropoll.ch/wp-content/uploads/2020/06/2019_AG_FB_PULVERAKTIV-KOHL-WEICHE-PASS_d.pdf, consulté le 04.03.2021.



Procédé de réaction et élimination des micropolluants

Charbon actif en poudre (CAP)

Le charbon actif en poudre (CAP) est d'abord mouillé avant d'être mis en contact avec l'eau usée. Après avoir réagi et adsorbé les micropolluants, le CAP est coagulé avec du chlorure ferrique et floculé avec un polymère. Cette étape vise à agréger le charbon actif en poudre pour former de plus grosses particules. De plus, l'ajout de coagulant permet d'améliorer l'abattement du phosphore. Un procédé de filtration suit la coagulation et la floculation pour séparer le CAP de l'eau¹⁰. Après avoir réagi avec l'eau usée et adsorbé les micropolluants, le CAP suit la filière classique de traitement des boues. De fait, la quantité totale de boues produites à la STEP augmente d'environ 4-5 % (pour 10 mg CAP / L). Lors de la digestion des boues (production de biogaz), une faible proportion de la charge de micropolluants adsorbée est redissoute (< 1 % de la charge totale entrant dans la biologie). Cette charge de MP est renvoyée en tête de STEP avec les retours de déshydratation. À la sortie du digesteur, les boues digérées contenant le CAP n'ont pas pour autant une valeur calorifique plus élevée¹¹. Après digestion et déshydratation des boues, une incinération des boues restantes et contenant

le CAP peut être effectuée, ce qui permet de minéraliser tous les micropolluants. Le CAP compte pour 0.01 à 0.04 kWh / m³ dans le bilan énergétique de la STEP mais ce chiffre se monte à environ 0.4 kWh / m³ en considérant la consommation totale d'énergie primaire¹² et ~ 150 gCO₂ / m³⁷.

Charbon actif en grain (CAG)

Le charbon actif en grains (CAG) sédimente naturellement, sans que l'eau traitée ne doive passer par un filtre avant d'être rejetée. Le CAG peut ensuite être régénéré. Il produit ~40 gCO₂ / m³⁷ et requiert entre 0.01 et 0.04 kWh / m³¹³.

Le lit filtrant de CAG doit être réactivé après avoir filtré un certain volume d'eau. Pour ce faire, le CAG est séché afin d'atteindre un taux d'humidité déterminé, puis chauffé à haute température >550°C pour brûler la majeure partie de la matière organique (dont les micropolluants) adsorbée (entre 75 et 90 %). Finalement, de la vapeur d'eau est injectée afin de retirer la matière organique récalcitrante et réactiver le CAG. Ce processus de réactivation nécessite une faible quantité (~10 %) de charbon actif « frais » pour recouvrir sa capacité d'adsorption initiale¹⁴.

10 https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Beratung/Beratung_Wissenstransfer/Publ_Praxis/Fiches_info/fi_charbon_actif_en_poudre_avril2012.pdf, consulté le 04.03.2021.

11 https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Beratung/Beratung_Wissenstransfer/Publ_Praxis/Fiches_info/fi_cout_energetique_de_l'elimination_des_micropolluants_avril2012.pdf, consulté le 04.03.2021.

12 <https://micropoll.ch/fr/Médiathèque/charbon-actif-en-poudre-dans-le-traitement-des-boues-fiche-d'information/>, consulté le 04.03.2021.

13 https://www.infrawatt.ch/sites/default/files/2018_01_17_%C3%89nergie%20dans%20les%20STEP_micropolluants_1.PDF, consulté le 04.03.2021.

14 https://www.oieau.org/eaudoc/system/files/documents/40/202534/202534_doc.pdf, consulté le 04.03.2021.

Résultats de la STEP de Penthaz

Mise en service en octobre 2018, la nouvelle étape de traitement des micropolluants utilisant un système à charbon actif en grain (CAG) en lit fluidisé a été suivie durant l'année 2019 en analysant mensuellement des échantillons prélevés sur 48h en entrée et sortie de la STEP. Le CAG en lit fluidisé est un procédé particulier où le CAG est gardé en suspension dans un réacteur grâce à une recirculation de l'eau. Un système de surverse permet d'évacuer l'eau traitée sans avoir d'étape de filtration en aval.

Tous les prélèvements ont respecté la norme de rendement de 80 % fixée par l'ODETEC et l'OEaux (figure 14). En 2019, l'abattement moyen des 12 substances indicatrices était de 90 %, contre 17.7 % de 2015 à 2018. Grâce à cet abattement élevé, les concentrations des micropolluants en sortie de STEP sont significativement réduites (figure 15 et figure 16).

Concernant les autres micropolluants mesurés, la comparaison des abattements avant et après mise en place de la nouvelle étape de traitement démontre qu'ils sont également considérablement réduits. En effet, la moyenne de l'abattement des micropolluants après mise en service du traitement est de 90.3 % contre 37.2 % précédemment.

De plus, sur les 40 micropolluants analysés après la mise en place du traitement au charbon actif¹⁵, 33 dépassent les 80 % d'abattement (figure 16).

Abattement après mise en service traitement CAG	< 70 %	Entre 70 et 80 %	Entre 80 et 90 %	> 90 %
# de micropolluants	3	4	7	26

Les micropolluants les moins bien abattus sont la Gabapentine (43.6 %), la Clindamycine (64.9 %) et le Candésartan (68.3 %).

Étant donné l'absence de filtre à la suite du traitement micropolluants, le VSA et l'OFEV ont demandé que des analyses des pertes de charbon actif dans l'effluent soient effectuées. Les analyses ont été réalisées par la haute école d'ingénierie du Nord-Ouest de la Suisse (FHNW). Les différentes conditions hydrauliques étudiées et les résultats ont montré qu'en moyenne 0.41 mgCAG / L se retrouvait dans les eaux rejetées et que 97 % du charbon actif était retenu, ce qui respecte les recommandations du VSA (< 0.5 mgCAG / L et > 95 % de rétention). De ce fait, la mise en place d'une étape supplémentaire de filtration ne paraît pas nécessaire à l'heure actuelle.

¹⁵ La Primidone et le MCPA n'ont pas été analysés dans les échantillons prélevés après mise en place du traitement au charbon actif.

Figure 14 - Évolution temporelle de la moyenne des abattements des 12 substances indicatrices pour la STEP de Penthaz.

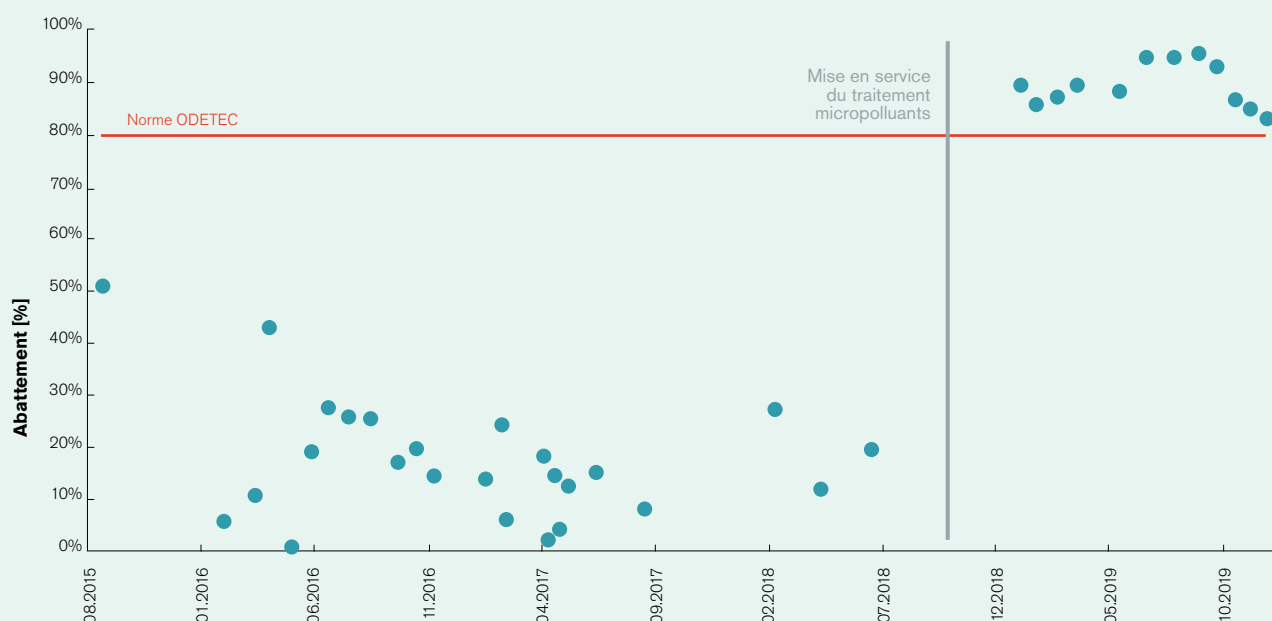


Figure 15 - Concentrations cumulées des substances indicatrices selon l'ODETEC en sortie de la STEP de Penthaz.

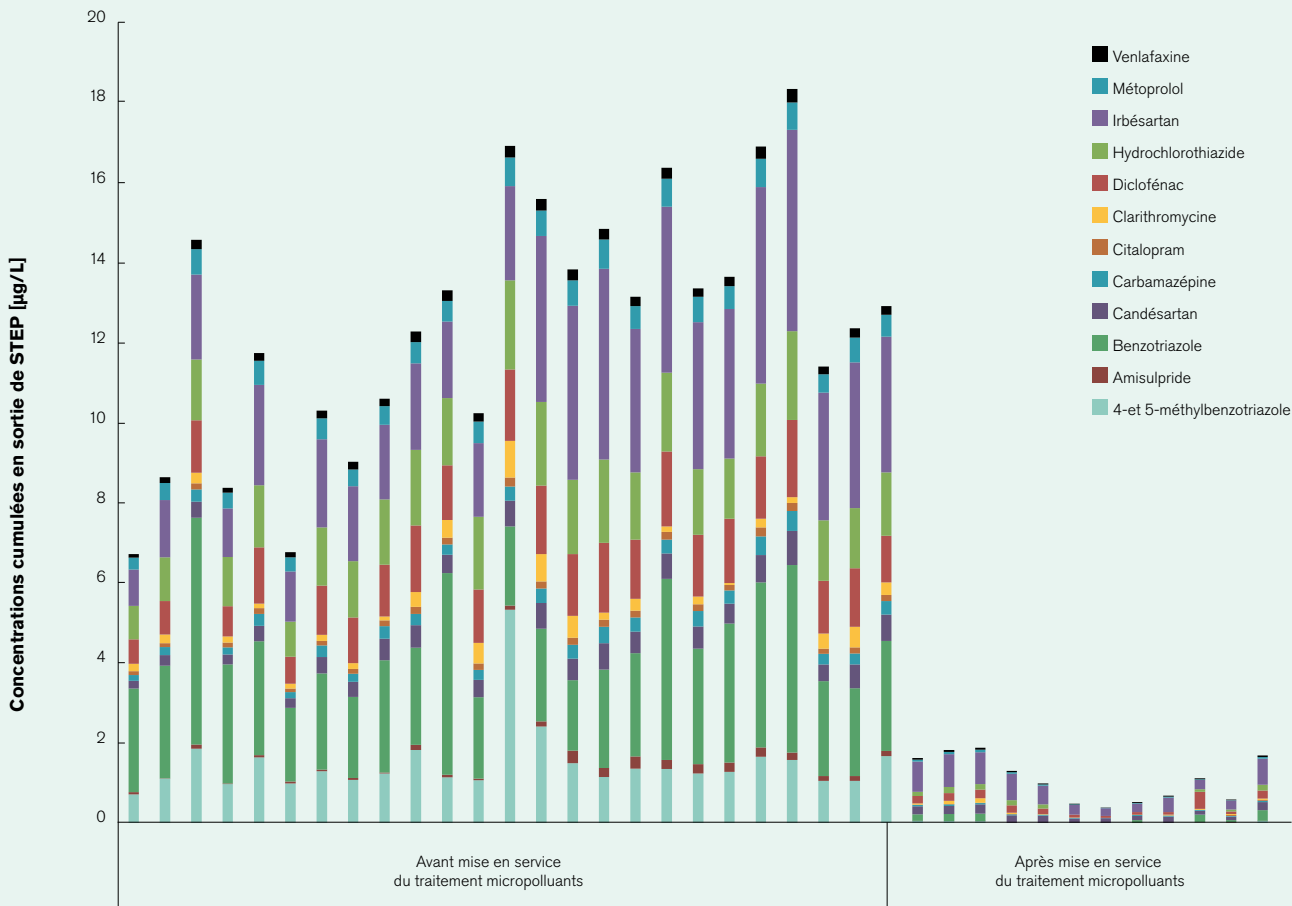
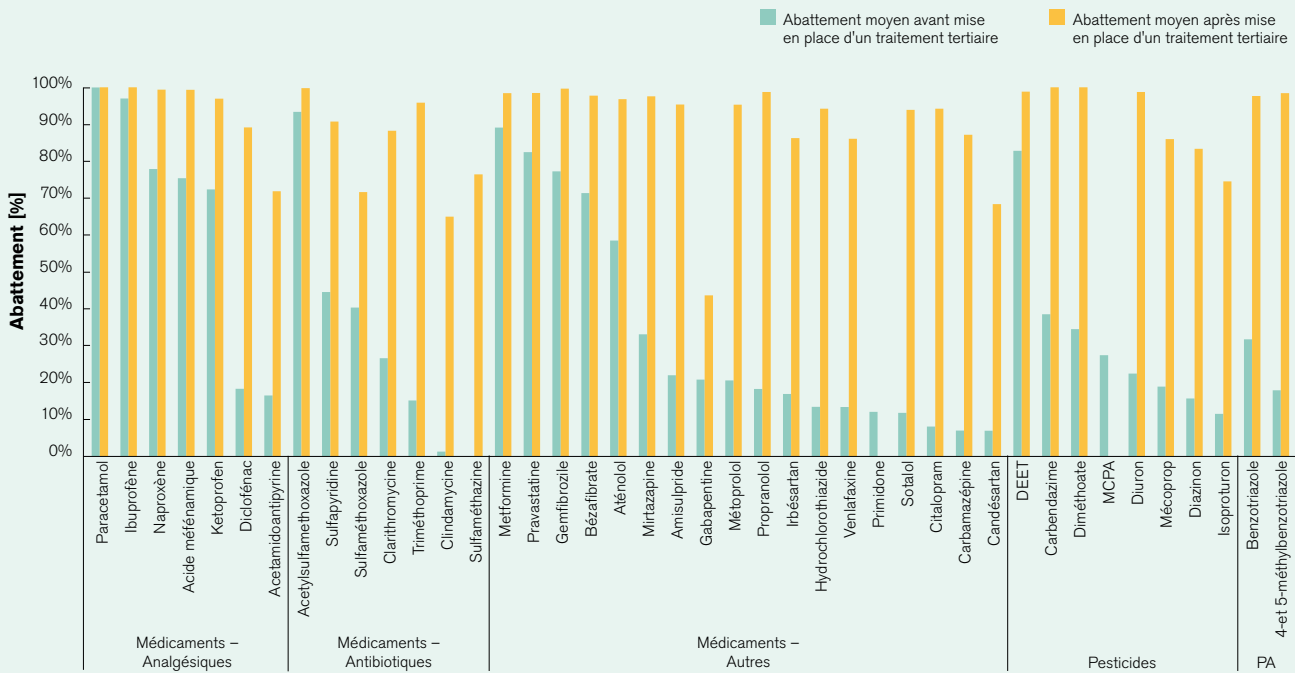


Figure 16 - Comparaison de l'abattement des micropolluants avant et après la mise en place du traitement des micropolluants à la STEP de Penthaz. PA = Produits anticorrosifs.



Simulation de la charge en micropolluants après la mise en place d'un traitement micropolluants

Afin d'avoir une idée approximative de ce qu'apporterait la mise en place d'un traitement des micropolluants dans les STEP du territoire vaudois, les valeurs d'abattement de la STEP de Penthaz avec le CAG ont été appliquées à chaque micropolluant. Traiter les micropolluants dans l'ensemble des STEP suivies permettrait de réduire la charge en sortie de 92.6% (tableau 8), passant de 13.5 kg/j à 1.0 kg/j. La Gabapentine (278.1 g/j – 26.5%), la Metformine (265.9 g/j – 25.3%) et

le Diclofénac (102.7 g/j – 9.8%) représenteraient la majorité de la charge restante après une étape de CAG. Au total, après la mise en place d'un traitement micropolluants, 1.0 kg/j de micropolluants seraient déversés dans les eaux superficielles sur les 48.8 kg/j qui sont mesurés actuellement en entrée des STEP suivies. Cela signifie que 98% des micropolluants seront traités à l'avenir dans les STEP équipées d'un traitement des micropolluants.



Tableau 8 - Charges actuelles en entrée et en sortie de STEP, charge simulée en sortie avec un traitement des micropolluants dans toutes les STEP.

Micropolluant		Charge totale en sortie de STEP suivies [g / j]	Charge simulée en sortie de STEP si traitement micropolluants pour toutes les STEP suivies [g / j]	Différence entre la charge en sortie avec et sans traitement MP [g / j]
Médicaments – Analgésiques	Acetamidoantipyrine	253.9	84.9	169.1
	Acide méfénamique	139.6	1.4	138.2
	Diclofénac	826.9	102.7	724.2
	Ibuprofène	295.7	0.0	295.7
	Ketoprofen	41.1	1.9	39.2
	Naproxène	228.7	2.7	226.0
	Paracetamol	66.8	0.0	66.8
Médicaments – Antibiotiques	Acetylsulfamethoxazole	28.1	0.4	27.7
	Clarithromycine	52.7	8.8	43.9
	Clindamycine	11.3	2.7	8.6
	Sulfaméthazine	12.6	3.9	8.7
	Sulfaméthoxazole	85.0	32.3	52.7
	Sulfapyridine	19.7	2.8	16.9
	Triméthoprim	38.4	2.0	36.3
Médicaments – Autres	Amisulpride	87.3	4.9	82.4
	Aténolol	134.7	6.3	128.4
	Bézafibrate	56.2	2.3	53.9
	Candésartan	97.8	33.0	64.8
	Carbamazépine	51.7	6.8	44.9
	Citalopram	35.4	2.3	33.1
	Gabapentine	424.0	278.1	145.9
	Gemfibrozile	20.3	0.1	20.2
	Hydrochlorothiazide	288.8	18.9	269.9
	Irbésartan	351.0	55.0	296.0
	Metformine	7605.8	265.9	7339.9
	Métoprolol	108.7	5.8	102.9
	Mirtazapine	11.4	0.4	11.0
	Pravastatine	60.5	1.4	59.0
	Primidone	18.3	18.3	0.0
	Propranolol	15.1	0.2	14.9
	Sotalol	68.2	4.7	63.5
	Venlafaxine	52.5	8.9	43.7
Pesticides	Carbendazime	7.9	0.0	7.9
	DEET	170.1	5.2	164.9
	Diazinon	4.2	0.7	3.4
	Diméthoate	1.9	0.0	1.9
	Diuron	22.5	0.3	22.2
	Isoproturon	1.4	0.4	1.0
	MCPA	33.5	33.5	0.0
	Mécoprop	59.0	8.8	50.2
Produits anticorrosifs	4-et 5-méthylbenzotriazole	443.6	7.7	435.9
	Benztotriazole	1138.2	34.3	1103.9
Somme		13'471 (100 %)	998 (7.4 %)	12'472 (92.6 %)

IMPACT DES MICROPOLLUANTS URBAINS SUR LES EAUX SUPERFICIELLES

Indicateurs d'impacts dans les cours d'eau

L'annexe 2 de l'OEaux, modifiée en avril 2020, précise des exigences chiffrées pour les pesticides et pour 3 médicaments (Azithromycine, Clarithromycine et Diclofénac) dans les eaux superficielles. Afin de déterminer l'impact des eaux usées traitées sur la faune et la flore aquatiques, le risque écotoxicologique généré par les nombreuses substances actives doit être pris en compte. Des critères de qualité environnementale (CQE) sont ainsi définis par le centre Ecotox¹⁶ pour la Suisse, selon la méthodologie européenne.

Les CQE permettent d'évaluer l'impact de deux types de pollutions :

- le critère de qualité environnementale d'écotoxicité aiguë (CQE-aiguë) permet de mettre en évidence des pollutions ponctuelles sur une courte durée, pouvant générer un empoisonnement aigu de la faune et la flore aquatique ;
- le critère de qualité environnementale d'écotoxicité chronique (CQE-chronique) permet de mettre en évidence des pollutions continues, pouvant induire un effet écotoxique

continu de la faune et de la flore aquatiques. L'OEaux préconise de considérer la concentration moyenne des polluants sur une période de 2 semaines.

Les CQE sont définis pour protéger les organismes aquatiques à plusieurs niveaux de la chaîne alimentaire, de la base (algues) au sommet (poissons). La liste de l'OEaux est amenée à évoluer afin de prendre en compte de plus en plus de micropolluants responsables des problèmes d'écotoxicité dans les eaux de surfaces. Dans ce rapport, les CQE énumérés dans l'OEaux ont été complétés par des CQE établis par le centre Ecotox. Tous les CQE existants pour les micropolluants suivis sont listés dans l'annexe 11.

Une aide à l'exécution est en cours de préparation par l'OFEV, afin de pouvoir, à partir de ces nouvelles exigences, évaluer l'état chimique des cours d'eau vis-à-vis des substances et de leur mélange dans l'environnement. Le résultat de ce mélange est appelé « effet cocktail ».

Evaluation écotoxique

Dans cette analyse, ne sont considérés que les dépassements des CQE et non les dépassements de la limite de 0.1 µg/L de l'OEaux qui s'applique aux pesticides. Des CQE-aiguë et des CQE-chronique sont fixés respectivement pour 23 et 25 micropolluants sur les 42 analysés dans les échantillons prélevés dans les STEP et les rivières. Ces valeurs sont reportées dans l'annexe 11.

Étant donné que les concentrations des micropolluants sont généralement très faibles dans les rivières, il arrive régulièrement que les méthodes analytiques puissent les détecter mais ne soient pas assez sensibles pour les quantifier précisément. Dans ce cas, la concentration du micropolluant est déterminée par la limite de quantification divisée par deux.



¹⁶ Centre d'écotoxicologie pour la Suisse. Il a pour rôle d'identifier et évaluer l'impact de substances chimiques sur l'environnement (<https://www.centreecotox.ch/portrait/>).

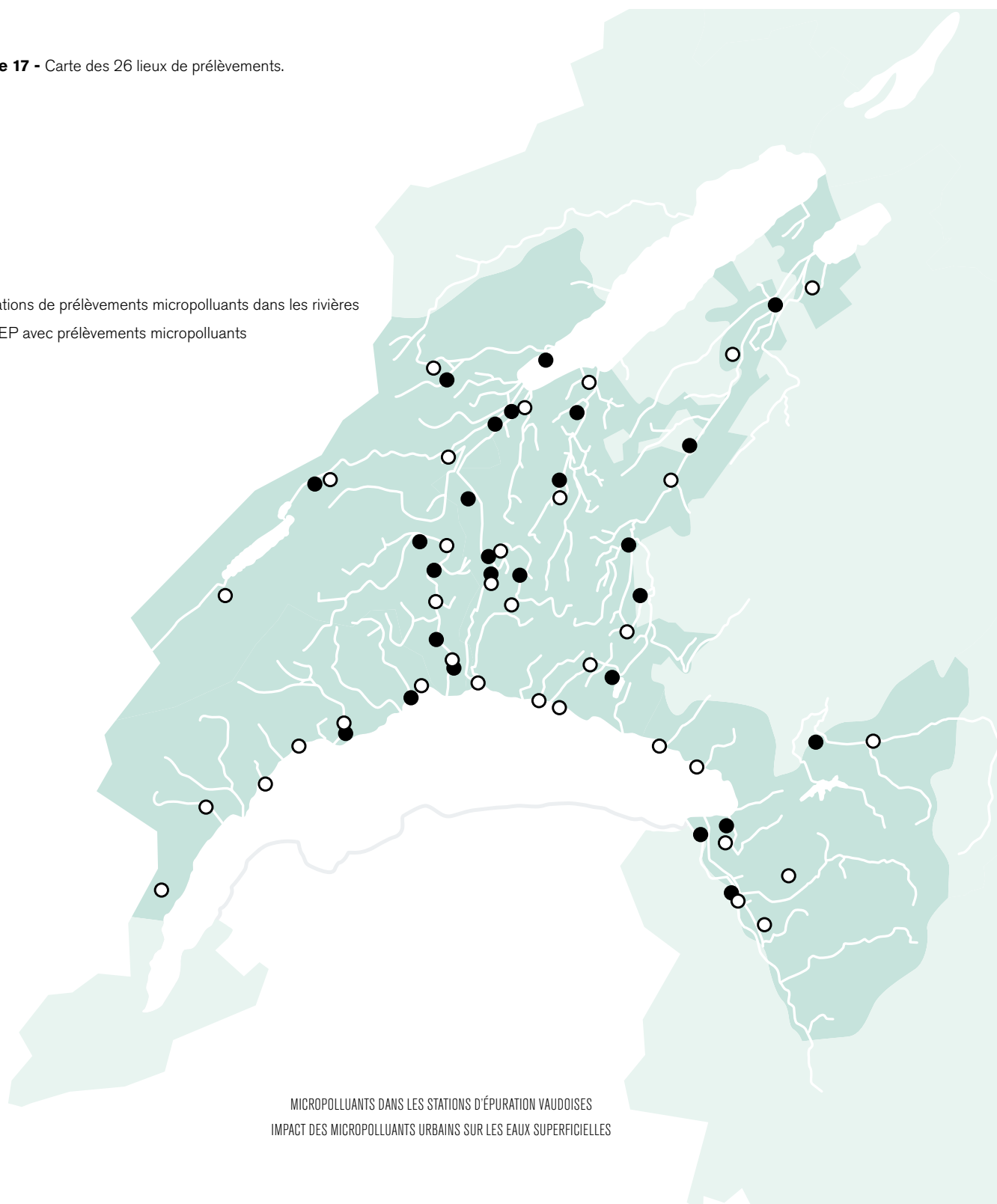
Réseau de surveillance

Depuis 2015, des prélèvements instantanés sont effectués quatre fois par année sur 26 sites répartis sur 18 rivières. Ces sites ont été choisis en fonction des STEP impliquées dans les différents projets de régionalisation et impactées par la

mise en place des traitements des micropolluants. Ce réseau permettra ainsi d'évaluer l'efficacité du plan micropolluants du Canton de Vaud.

Figure 17 - Carte des 26 lieux de prélèvements.

- Stations de prélèvements micropolluants dans les rivières
- STEP avec prélèvements micropolluants



Les micropolluants urbains dans les rivières

Les substances les plus concentrées dans les rivières sont la Metformine, le Benzotriazole, le Méthylbenzotriazole et le DEET (figure 18). Elles sont toutes soumises à une CQE-aiguë. En revanche, la Gabapentine, le Paracétamol et le Diclofénac s'observent à des concentrations importantes mais ne disposent pas de CQE-aiguë à l'heure actuelle. Il est important de remarquer que les concentrations des

micropolluants sont variables en fonction du point de prélèvement dans le bassin versant. L'activité anthropogénique tend en effet à augmenter de l'amont vers l'aval des bassins versants hydrologiques. Dans le cas de la Venoge, la plupart des micropolluants sont plus concentrés au point de prélèvement le plus en aval (Ecublens les Bois - figure 19) qu'au point plus en amont (La Sarraz).

Figure 18 - Boxplots des concentrations de micropolluants dans les rivières. Les boxplots de certains micropolluants ne sont pas présentés car il y a trop de concentrations nulles pour qu'elles soient pertinentes. Axe des concentrations représenté sous forme logarithmique. PA = Produits anticorrosifs.

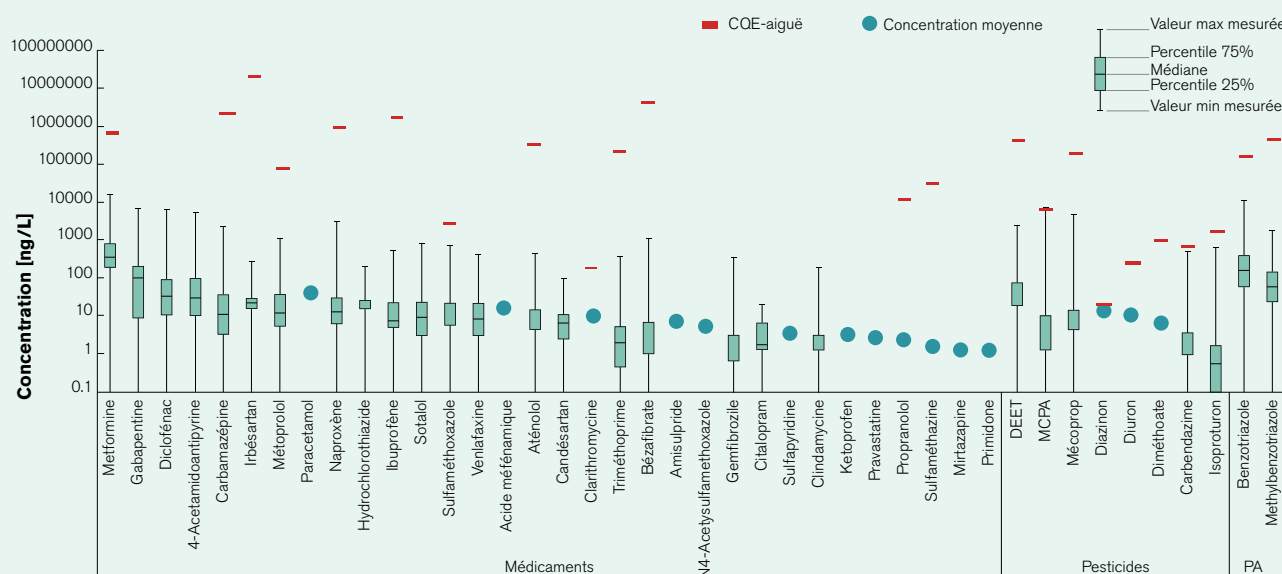
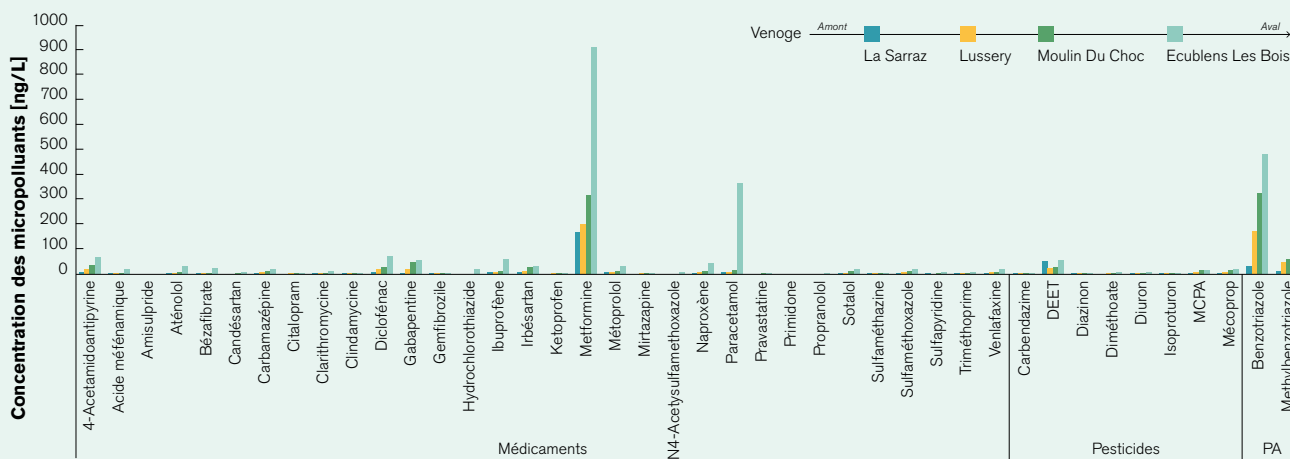


Figure 19 - Évolution de la concentration moyenne des micropolluants entre l'amont et l'aval de la Venoge. PA = Produits anticorrosifs.



Evaluation selon les critères d'exposition aiguë

Sur un total de 12'729 analyses réalisées entre 2015 et 2019, les CQE-aiguë ont été dépassés 13 fois (0.10% des analyses) pour 5 micropolluants différents. Même si ce nombre semble faible, il n'est pas négligeable, puisque ces limites ne devraient jamais être dépassées. Au-delà de son CQE-aiguë, le micropolluant détériore significativement l'écosystème aquatique et la biodiversité. Les micropolluants ayant dépassé ces valeurs limites sont principalement des herbicides (4 substances – 11 dépassements) et un médicament (2 dépassements), comme illustré dans le tableau 9.

Les dépassements ont eu lieu sur 6 sites différents. La Mortigue, petit cours d'eau, est la rivière la plus touchée (7 dépassements). Des dépassements plus fréquents sont attendus lorsque le débit de la rivière est faible. En effet, plus le débit résiduel du cours d'eau est faible, plus les micropolluants

sont concentrés. Des quotients de risque (QR) ont été calculés dans le tableau 10, pour les 13 cas de dépassements cités plus haut (tableau 9). Le QR est le ratio entre la concentration d'un micropolluant et le CQE. Au-delà de 1, le QR indique que la norme est dépassée et qu'il y a un impact potentiel sur la faune et la flore aquatiques.

Plus le QR est élevé, plus le dépassement de la norme est important. Cela permet d'apprécier l'ampleur des dépassements. Lors d'un dépassement des CQE-aiguë, les QR sont très légèrement supérieurs à 1 dans la plupart des prélèvements et des rivières. Toutefois, des dépassements très importants sont à relever dans la Mortigue pour le Diazinon avec une concentration ayant excédé le CQE de 10 fois à trois reprises, allant jusqu'à être 300 fois plus élevée lors de certains prélèvements (tableau 10).



Lors des prélèvements, le débit de la rivière est apprécié qualitativement (Étiage / Moyen / Pluie / Crue) par l'opérateur de terrain. 8 dépassements ont eu lieu lors d'étiage et 3 lorsque le débit était moyen. L'état de la rivière n'a pas été relevé lors des 2 autres dépassements. Les médicaments et produits anticorrosifs sont déversés de façon continue dans les rivières par les eaux usées, tandis que les pesticides sont déversés plus ponctuellement dans les cours d'eau, notamment par

ruissellement et lessivage en temps de pluie. Compte tenu des faibles charges en pesticides et produits phytosanitaires en sortie de STEP, l'influence agricole est probablement prépondérante dans les dépassements des CQE-aigus.

L'échantillonnage instantané est donc plus approprié pour l'évaluation de l'impact des médicaments que pour celui des pesticides dont la détection est plus aléatoire.

Tableau 9 - Dépassements observés des critères de qualité environnementale à exposition aiguë en fonction des années.

	Clarithromycine (médicament)	Diazinon (pesticide)	Diméthoate (pesticide)	Diuron (pesticide)	MCPA (pesticide)
2015	-	2	-	-	-
2016	-	1	1	-	-
2017	1	1	1	-	1
2018	1	2	-	2	-
2019	-	-	-	-	-
Total	2	6	2	2	1

Tableau 10 - Quotients de risque en fonction des lieux de prélèvements et des substances (M = Médicaments, P = Pesticides).

■ = $1 \leq QR < 2$ (moyen), ■ = $2 \leq QR < 10$ (médiocre) et ■ = $QR \geq 10$ (mauvais).

Rivière	Lieu de prélèvement	Débit d'étiage [L / s]	Micropolluant	Quotient de risque (QR)
Morges	Amont Lac	25	Diméthoate (P)	1.56
Foirause	Aval STEP Bercher	3	Diazinon (P)	1.69
Mortigue	Aval STEP Bioley-Orjulaz	-	Clarithromycine (M)	1.07
			Diazinon (P)	5.08
			Diazinon (P)	35.4
			Diazinon (P)	297
			Diazinon (P)	11.9
			Diuron (P)	1.88
			MCPA (P)	1.18
Parimbot	Aval STEP Servion	2	Clarithromycine (M)	2.31
			Diazinon (P)	1.10
Eau Froide de Roche	Rennaz	70	Diméthoate (P)	1.28
Talent	St-Barthélémy	45	Diuron (P)	1.05

Evaluation selon les critères d'exposition chronique

Afin de comparer les concentrations obtenues aux CQE-chronique, la concentration moyenne 2015-2019 de chaque micropolluant a été calculée pour chaque site de prélèvement. Cette méthode n'est pas idéale car l'appréciation devrait se faire sur la concentration d'échantillons prélevés en continu pendant 14 jours plutôt que sur une moyenne d'échantillons instantanés. Cette manière de calculer permet toutefois de donner un aperçu de la qualité des cours d'eau.

La figure 20 montre que les concentrations moyennes des micropolluants dans les rivières n'excèdent jamais 1 µg/L (= 1'000 ng/L). Elles sont, pour la plupart, bien inférieures à leur CQE-chronique respective. En revanche, pour l'Ibuprofène et le Diclofénac, les CQE-chronique correspondent à peu près à la médiane des concentrations moyennes. Cela signifie que les critères sont dépassés dans de nombreuses rivières.

Les dépassements des critères chroniques sont présentés dans le tableau 11. Les quotients de risque (QR) sont calculés par le ratio entre la concentration moyenne d'un micropolluant et le CQE-chronique. Le QR est très faible pour la majorité des micropolluants et des lieux de prélèvements, car les CQE-chronique sont élevés pour une large partie des substances. Sur les 25 micropolluants analysés dans 26 sites, 5 micropolluants ont dépassé les critères de qualité chronique et 17 sites enregistrent 1 dépassement pour au moins 1 micropolluant.

Au total, 31 dépassements sur 650 évaluations ont été observés (4.8%).

La plupart des dépassements sont observés pour deux médicaments anti-inflammatoires : l'Ibuprofène avec 15 dépassements et le Diclofénac avec 13 dépassements. Ces substances composent certains des médicaments les plus consommés en Suisse. Le Diclofénac n'est, en outre, pas bien dégradé par les traitements actuels des STEP. C'est ainsi qu'ils sont présents dans les eaux de sortie des STEP, puis dans les rivières. De plus, les CQE-chronique pour l'Ibuprofène et le Diclofénac sont extrêmement bas (11 et 50 ng/L, respectivement). Ces deux paramètres (fréquence d'utilisation et CQE bas) expliquent les nombreux dépassements dans les rivières pour ces deux substances. A contrario, le CQE-aiguë de l'Ibuprofène étant élevé (1'700'000 ng/L), aucun dépassement du CQE-aiguë n'a été observé pour cette substance. Les autres dépassements, au nombre de 3, concernent 3 herbicides. À noter que le prélèvement instantané ne permet pas de déterminer la pollution par les pesticides avec fiabilité, du fait de leur utilisation ponctuelle.

Les rivières présentant plusieurs dépassements des CQE-chronique sont, comme pour les dépassements des CQE-aiguë, des petits cours d'eau caractérisés par des débits et dilutions faibles.

Figure 20 - Les moyennes des concentrations par micropolluant ont été calculées pour chacune des 26 stations de prélèvement (de 2015 à 2019). Axe des concentrations représenté sous forme logarithmique. PA = Produits anticorrosifs.

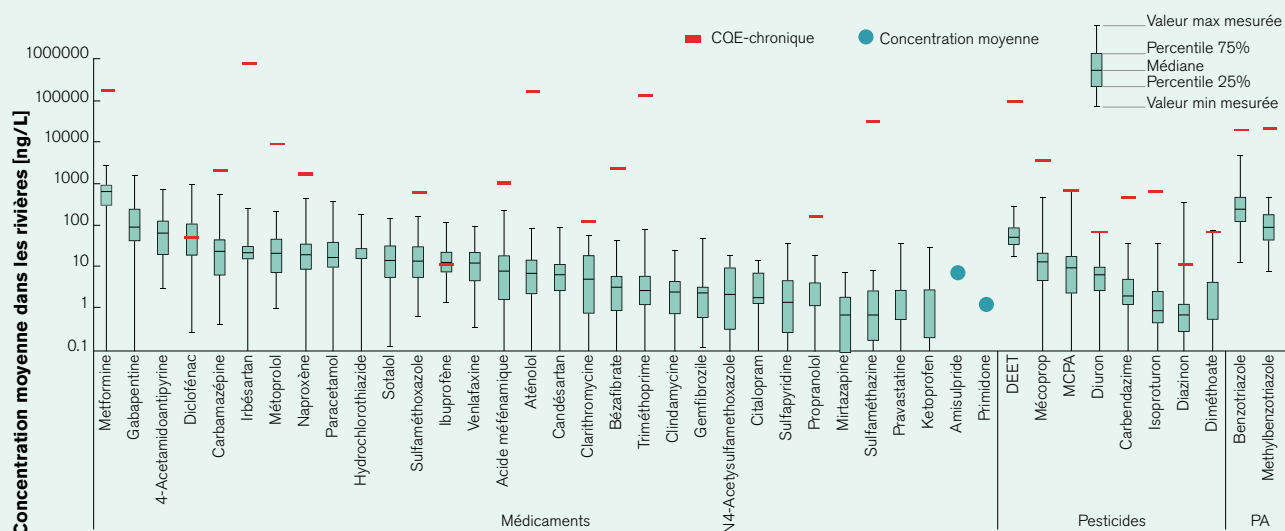


Tableau 11 - Quotient de risque chronique, ratio entre la concentration environnementale et le critère de qualité environnementale.

Quotient de risque	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
Conditions	QR < 0.1	0.1 ≤ QR < 1	1 ≤ QR < 2	2 ≤ QR < 10	QR ≥ 10
Formule du calcul du QR	$QR = \frac{\text{Concentration chronique [ng/L]}}{\text{Critère de qualité environnementale à exposition chronique (COE chronique)[ng/L]}}$				

	Rivière	Lieu de prélèvement	Amont Lac	Amont Vuilleboeuf	Allaman Le Coulet	Amont STEP Henniez	Bressonnaz	Domdidier	Amont Yverdon	Remnaz	Aval STEP Bercher	Embouchure	Aigle Autoroute	Le Pigeon	La Mauguettaz	Amont Lac	Aval STEP Bioley-Orjulaz	Valloire	Aval STEP Servion	Amont La Tine	Chavornay	Malapalud	Saint-Barthélemy	Yverdon Les Paroisses	Ecublens Les Bois	La Sarraz	Lussey	Moulin du Choc
			Arnon	Arnon	Aubonne	Broye	Broye	Broye	Canal Occidental	Eau Froide de Roche	Foirause	Grand Canal	Grande Eau	Grenet	Menthue	Morges	Mortigue	Orbe	Parinbot	Sarine	Talent	Talent	Talent	Thiele	Venoge	Venoge	Venoge	Venoge
Médicaments	Acide méfénamique		0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	0.05	0.01	0.00	0.02	0.00	0.01	0.03	0.00	0.23	0.00	0.01	0.02	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
	Aténolol		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Bézafibrate		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
	Carbamazépine		0.01	0.02	0.00	0.02	0.02	0.01	0.03	0.02	0.02	0.00	0.00	0.04	0.01	0.01	0.10	0.00	0.27	0.00	0.02	0.02	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
	Clarithromycine		0.01	0.06	0.02	0.04	0.11	0.06	0.18	0.14	0.19	0.04	0.00	0.18	0.01	0.00	0.24	0.00	0.49	0.00	0.10	0.16	0.20	0.01	0.08	0.00	0.01	0.03
	Diclofénac		0.53	1.42	0.32	1.20	2.19	0.98	5.13	1.35	2.95	0.43	0.12	2.93	0.45	0.89	8.99	0.01	18.6	0.06	2.11	1.70	3.88	0.30	1.42	0.13	0.37	0.51
	Ibuprofène		1.51	1.73	0.96	1.36	0.27	2.39	10.6	0.72	1.70	2.86	0.95	3.84	0.73	1.60	1.10	0.13	10.0	0.20	1.21	2.47	1.49	0.67	5.28	0.49	0.57	0.96
	Irbésartan		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Metformine		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
	Métoprolol		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Naproxène		0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.05	0.01	0.02	0.01	0.00	0.03	0.01	0.01	0.02	0.00	0.25	0.00	0.01	0.02	0.02	0.00	0.03	0.00	0.00	0.01
	Propranolol		0.00	0.01	0.00	0.01	0.03	0.01	0.05	0.01	0.03	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.06	0.00	0.12	0.00	0.01	0.03	0.06	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
	Sulfaméthazine		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Sulfaméthoxazole		0.01	0.04	0.01	0.02	0.05	0.02	0.09	0.02	0.06	0.00	0.00	0.07	0.02	0.03	0.09	0.00	0.28	0.00	0.06	0.03	0.07	0.01	0.03	0.00	0.01	0.02
	Triméthoprim		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Anti-Corrosifs	Benzotriazole		0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	0.24	0.02	0.03	0.00	0.00	0.03	0.01	0.01	0.04	0.00	0.06	0.00	0.02	0.01	0.02	0.01	0.03	0.00	0.01	0.02
	Methylbenzotriazole		0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Pesticides	Carbendazime		0.00	0.00	0.08	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
	DEET		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Diazinon		0.02	0.04	0.03	0.07	0.14	0.10	0.14	0.03	0.39	0.06	0.01	0.05	0.02	0.07	29.3	0.02	0.48	0.00	0.16	0.10	0.12	0.06	0.06	0.00	0.02	0.03
	Diméthoate		0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.00	0.12	0.86	0.00	0.05	0.00	0.00	0.11	1.10	0.19	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.02	0.01	0.09	0.00	0.01	0.01
	Diuron		0.02	0.09	0.05	0.06	0.06	0.15	0.14	0.10	0.22	0.13	0.00	0.13	0.11	0.21	0.95	0.00	0.34	0.00	0.41	0.14	0.42	0.03	0.11	0.00	0.03	0.04
	Isoproturon		0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	MCPA		0.00	0.00	0.01	0.03	0.11	0.03	0.01	0.01	0.03	0.00	0.00	0.03	0.02	0.02	1.03	0.00	0.01	0.01	0.03	0.02	0.06	0.00	0.02	0.00	0.01	0.02
	Mécoprop		0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.12	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



Micropolluants urbains non analysés dans les STEP

En complément aux micropolluants analysés dans les STEP et les rivières, plusieurs autres substances sont analysées uniquement dans les eaux superficielles bien qu'elles soient issues d'eaux usées urbaines. Leur détection dans les eaux de STEP apporterait des informations utiles mais n'est à ce jour pas réalisable, la [matrice](#) complexe des eaux usées rendant difficile l'analyse de certains composés. À l'avenir, le monitoring de ces substances continuera d'être effectué dans les rivières afin de répondre aux exigences de l'OEaux. Les données micropolluants issues des STEP étant purement informatives, il n'est pas envisagé d'essayer d'analyser ces composés.

L'Azithromycine fait partie des micropolluants dont l'analyse est délicate. C'est un antibiotique principalement destiné à la consommation humaine qui, par conséquent, est transféré dans les rivières par les eaux usées (STEP, réseaux). Les concentrations qu'il atteint dans les rivières ont dépassé à plusieurs reprises le CQE-aiguë (CQE = 180 ng/L, 3 dépassements) et le CQE-chronique (CQE = 19 ng/L, dépassements dans 5 lieux de prélèvements différents). Les autres substances suivies uniquement dans les eaux superficielles n'ont à ce jour jamais dépassé les CQE.

Impact sur les eaux superficielles

Les deux micropolluants les plus concentrés en sortie de STEP sont la Metformine et le Benzotriazole. Pourtant, ces substances ne sont pas les plus nocives d'un point de vue écotoxicologique. Leurs CQE sont élevés et aucun dépassement n'a été observé. La qualité des eaux superficielles est nettement péjorée par les eaux usées contenant du Diclofénac, de l'Azithromycine et de l'Ibuprofène dont les concentrations ont excédé à plusieurs endroits les critères de qualité chronique, ainsi que de la Clarithromycine avec des dépassements du critère de qualité aiguë.

L'impact sur le milieu aquatique des 5 produits phytosanitaires analysés, provenant des rejets de STEP, est difficile à apprécier. En effet, les concentrations de ces substances dans les cours d'eau sont également fortement liées aux activités agricoles présentes dans le bassin versant des cours d'eau suivis, induisant des transferts de produits phytosanitaires dans les eaux de manière diffuse. Les STEP ne sont ainsi pas l'unique source de produits phytosanitaires dans les eaux superficielles et leur rôle dans l'apport de ces substances est secondaire.

La mise en place d'un traitement des micropolluants dans plusieurs STEP du canton permettra de réduire massivement les charges de médicaments et de produits anticorrosifs qui y sont actuellement déversées. Cela améliorera considérablement la qualité chimique des eaux de surface et contribuera à la réduction de l'impact écotoxicologique des eaux urbaines sur le milieu aquatique.

Les comparaisons des concentrations de micropolluants dans les rivières aux CQE-chronique et aiguë permettent de tirer les conclusions suivantes :

1. les quatre composés les plus concentrés dans les rivières (Metformine, Benzotriazole, DEET et 4- et 5-méthylbenzotriazole) ne représentent pas un danger conséquent en termes d'écotoxicité ;
2. pour les CQE-chronique, ce sont surtout les médicaments (Diclofénac, Azithromycine et Ibuprofène) qui ne respectent pas les critères. Leur apport dans les rivières est lié exclusivement au transfert d'eaux usées dans les eaux

superficielles, par les rejets de STEP ou les déversements dans les réseaux d'évacuation des eaux. Par conséquent, leurs concentrations devraient significativement baisser suite à la mise en place des pôles de traitement des micropolluants, de même que les problèmes de pollution chronique. En outre, la création de ces pôles permettra une amélioration de l'état des réseaux d'évacuation des eaux, engendrant une diminution des déversements d'eau non traitée ;

3. plusieurs pesticides sont problématiques au regard de la pollution aiguë. Leurs critères de qualité environnementale sont bas en raison de leur toxicité importante et des dépassements peuvent ainsi se produire régulièrement, en fonction de la fréquence de leur utilisation ;
4. les dépassements des CQE-aiguë s'observent principalement dans des petits cours d'eau, en raison de leurs faibles débits et donc d'une mauvaise dilution des micropolluants. Avec les changements climatiques, les périodes d'étiage devraient s'allonger et se renforcer, concentrant ainsi encore plus les micropolluants et augmentant potentiellement leur nocivité.

Ce rapport met en lumière la diversité et les quantités importantes de micropolluants transportés quotidiennement dans les eaux usées, produits par la population, l'industrie, l'artisanat, l'agriculture, les structures de soins, etc.

Avec les changements climatiques induisant une diminution du débit des cours d'eau dans un avenir proche, les concentrations de micropolluants rejetés par les STEP vont augmenter dans les eaux superficielles.

L'impact sur les écosystèmes aquatiques sera dès lors toujours plus marqué si des mesures de traitement spécifiques ne sont pas mises en oeuvre.

CONCLUSIONS

Modernisation des STEP

Les résultats présentés renforcent la nécessité d'abattre la palette importante de micropolluants en équipant les grandes STEP du canton avec un traitement tertiaire.

Dans le canton de Vaud, 16 STEP régionales seront, à court terme, créées avec des traitements performants, incluant le traitement des micropolluants. Elles permettront de recevoir et traiter les eaux usées de 90 % de la population du canton.

À plus long terme, certaines petites STEP pourront éventuellement être équipées d'une étape de traitement supplémentaire pour préserver les milieux récepteurs sensibles et les ressources en eau potable. Les autres STEP doivent également renforcer leurs niveaux de traitement, et notamment la nitrification, afin de permettre d'augmenter l'abatement des micropolluants par les filières biologiques.

Perspectives et sensibilisation

La réduction à la source peut être encouragée par la sensibilisation de la population relative à l'utilisation des médicaments (ordonnances, consommation privée), avec modification des comportements : médecins, patients, pharmaciens, etc.

De même la sensibilisation de la population à l'élimination conforme des médicaments non utilisés peut réduire la charge médicamenteuse des eaux usées. Il s'agit notamment de retourner les médicaments en pharmacie et, surtout, de ne pas les évacuer dans les toilettes.

L'origine des pesticides dans les eaux usées et superficielles ainsi que leur impact sur le milieu naturel doivent être précisés. La population et les branches concernées par leur utilisation doivent être sensibilisées. Ce rapport ne fournit qu'une vision partielle de l'état des eaux vaudoises.

Les substances analysées ne représentent qu'une petite fraction de tous les micropolluants que l'on retrouve dans l'environnement. La palette des produits industriels analysés dans les STEP et les eaux superficielles doit s'étoffer, afin de pouvoir préciser les sources majeures de micropolluants au sein des différentes branches industrielles et artisanales.

De manière générale, le suivi des micropolluants de 2014 à 2019 a apporté de précieuses informations quant à la diversité des micropolluants, l'efficacité de traitement des STEP actuelles ainsi que la présence et l'impact des multiples substances de synthèse dans les rivières vaudoises.

La récolte des données doit se poursuivre et s'étendre pour évaluer l'amélioration de la qualité des cours d'eau suite à la mise en place de traitements spécifiques des micropolluants dans les STEP vaudoises.





ANNEXES

Annexe 1Concentration moyenne [$\mu\text{g/L}$] en entrée de STEP durant la période 2014-2019..... 58**Annexe 2**Charge moyenne en entrée de STEP [g/j] durant la période 2014-2019..... 60**Annexe 3**

Charges en entrée de STEP en fonction du bassin versant des STEP analysées..... 63

Annexe 4Charge spécifique moyenne par habitant [mg/hab/j] pour chaque STEP et chaque micropolluant..... 64**Annexe 5**Charge spécifique moyenne par habitant [mg/hab/j] normalisée..... 66**Annexe 6**

Description détaillée des charges spécifiques et des tendances pour chaque micropolluant..... 68

Annexe 7Concentration moyenne [$\mu\text{g/L}$] en sortie de STEP durant la période 2014-2019..... 72**Annexe 8**Charge moyenne en sortie de STEP [g/j] durant la période 2014-2019..... 74**Annexe 9**

Abattement moyen pour chaque STEP et chaque micropolluant..... 76

Annexe 10Comparaison de l'abattement moyen des micropolluants dans les STEP nitrifiantes
et non-nitrifiantes..... 78**Annexe 11**

Liste des critères de qualité environnementale (CQE) pour les micropolluants urbains..... 79

Annexe 1

Concentration moyenne [µg/L] en entrée de STEP durant la période 2014-2019

Concentration en entrée		Aigle	Aubonne	Avenches	Bercher II Foyrausaz	Bioley-Orjulaz	Bremblens	Bretigny-sur-Morrens	Bussigny	Château-d'Œx	Commugny	Echallens	Eclepens	Gland	La Sarraz	Lausanne
Médicaments – Analgésiques	Acetamidoantipyrine	1.78	0.54	2.88	1.55	1.05	0.90	1.30	1.15	1.64	0.48	1.61	0.63	0.71	1.85	1.41
	Acide méfénamique	1.12	0.77	1.41	1.14	1.16	1.15	1.46	1.16	0.64	0.79	1.08	0.52	0.99	0.99	0.78
	Diclofénac	1.65	1.34	3.55	1.48	2.36	2.08	2.64	2.12	1.35	1.35	2.09	1.65	1.73	2.48	1.18
	Ibuprofène	11.91	8.39	13.81	11.55	15.77	11.41	12.28	11.49	4.48	9.70	10.64	8.64	11.49	10.62	9.20
	Ketoprofen	0.21	0.19	0.41	0.55	0.35	0.44	0.22	0.57	0.10	0.21	0.25	0.22	0.25	0.30	0.25
	Naproxène	2.13	2.79	3.16	0.90	2.18	2.14	2.63	2.48	1.72	1.75	2.71	1.28	2.34	1.61	1.90
	Paracetamol	169.95	85.70	141.27	93.98	138.86	115.04	150.36	149.91	98.86	51.75	125.38	93.72	95.35	173.11	88.98
Médicaments – Antibiotiques	Acetylsulfamethoxazole	1.07	0.73	1.05	0.50	1.37	1.15	1.51	0.78	0.54	0.57	1.04	0.45	0.76	1.72	0.77
	Clarithromycine	0.25	0.30	0.37	0.39	0.25	0.29	0.29	0.32	0.24	0.37	0.21	0.21	0.35	0.44	0.31
	Ciindamycine	0.04	0.03	0.03	0.02	0.04	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.04
	Sulfaméthazine	0.02	0.02	0.43	0.03	0.10	0.04	0.03	0.02	0.03	0.03	0.10	0.05	0.03	0.03	0.13
	Sulfaméthoxazole	0.57	0.41	0.75	0.27	0.76	0.60	0.73	0.41	0.28	0.49	0.62	0.31	0.47	1.12	0.52
	Sulfapyridine	0.08	0.11	0.46	0.09	0.35	0.15	0.18	0.22	0.07	0.14	0.12	0.16	0.17	0.10	0.12
	Triméthoprim	0.23	0.17	0.29	0.10	0.29	0.23	0.28	0.19	0.14	0.14	0.24	0.11	0.18	0.41	0.22
Médicaments – Autres	Amisulpride	0.19	0.47	0.11	0.45	0.76	0.29	0.13	0.13	0.65	0.04	0.77	0.02	0.43	0.25	0.58
	Aténolol	0.76	0.64	1.23	0.77	1.36	2.17	1.54	1.89	0.90	0.99	1.30	1.51	0.93	2.24	0.72
	Bézafibrate	0.41	0.05	0.72	0.57	0.41	0.76	1.20	1.88	0.40	0.31	0.47	0.34	0.34	0.86	0.41
	Candésartan	0.35	0.37	1.01	0.85	1.04	0.71	0.69	0.37	0.64	0.46	0.80	0.20	0.52	0.24	0.37
	Carbamazépine	0.14	0.64	0.33	0.06	1.03	0.39	0.32	0.34	0.39	0.18	0.38	0.57	0.21	0.06	0.18
	Citalopram	0.17	0.19	0.34	0.26	0.28	0.18	0.25	0.18	0.14	0.12	0.16	0.13	0.16	0.31	0.15
	Gabapentine	2.09	2.59	2.66	5.58	7.76	0.51	2.62	0.38	3.36	1.25	3.68	4.49	3.50	2.20	2.00
	Gemfibrozile	0.45	0.04	0.02	0.97	0.24	0.05	0.02	0.12	0.33	0.08	0.14	0.27	0.12	0.21	0.11
	Hydrochlorothiazide	1.74	1.32	2.41	1.87	2.10	2.14	2.15	1.77	1.19	1.32	1.85	2.00	1.64	1.79	1.30
	Irbésartan	1.70	2.30	2.59	1.64	2.74	3.23	2.30	2.42	1.81	2.29	2.28	1.18	2.41	2.03	1.34
	Metformine	100.92	76.07	111.16	73.01	89.05	76.83	94.96	129.07	58.05	50.20	85.42	71.39	82.47	83.02	64.91
	Métoprolol	0.51	0.66	1.09	0.76	1.33	0.75	0.81	0.69	0.57	0.46	0.97	0.59	0.60	0.97	0.40
	Mirtazapine	0.09	0.08	0.12	0.06	0.05	0.06	0.05	0.06	0.07	0.03	0.05	0.03	0.06	0.10	0.06
	Pravastatine	0.47	0.33	1.01	0.61	0.61	0.42	0.35	0.51	0.32	0.33	0.55	0.32	0.43	0.58	0.29
	Primidone	0.13	0.39	0.11	0.11	0.12	0.12	0.11	0.15	0.18	0.13	0.10	0.14	0.12	0.69	0.12
	Propranolol	0.07	0.06	0.08	0.07	0.09	0.12	0.08	0.11	0.04	0.06	0.12	0.07	0.06	0.11	0.07
	Sotalol	0.42	0.27	0.56	0.08	0.36	0.44	0.26	0.29	0.11	0.20	0.57	0.20	0.32	0.16	0.21
	Venlafaxine	0.22	0.24	0.31	0.27	0.34	0.32	0.22	0.47	0.11	0.19	0.38	0.22	0.25	0.36	0.26
Pesticides	Carbendazime	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.05	0.03	0.04	0.14	0.30	0.06	0.04	0.04
	DEET	1.86	3.10	4.72	5.64	5.22	5.70	9.66	3.29	1.21	4.01	4.11	3.39	3.83	5.12	1.03
	Diazinon	0.01	0.02	0.06	0.11	0.13	0.08	0.02	0.02	0.01	0.04	0.02	0.09	0.03	0.01	0.01
	Diméthoate	0.01	0.02	0.02	0.02	0.12	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.29	0.02	0.11	0.01
	Diuron	0.19	0.06	0.07	0.06	1.75	0.08	0.03	0.08	0.03	0.29	0.08	1.58	0.15	0.03	0.05
	Isoproturon	0.005	0.005	0.003	0.019	0.004	0.008	0.002	0.007	0.001	0.007	0.065	0.167	0.003	0.003	0.006
	MCPA	0.14	0.12	0.14	2.05	0.17	1.08	0.26	0.14	0.16	0.16	0.13	24.26	0.30	0.64	0.34
	Mécoprop	0.21	0.17	0.24	0.33	0.33	0.17	0.13	0.26	0.24	0.16	0.13	2.64	0.19	0.20	0.25
Produits anticorrosifs	4-et 5-méthylbenzotriazole	1.71	3.84	9.07	1.93	2.75	4.38	3.33	7.63	1.14	2.96	1.66	20.62	2.16	4.72	1.38
	Benzotriazole	4.48	7.91	13.08	5.62	7.06	11.49	6.55	16.25	4.65	4.30	6.35	219.88	7.26	5.75	4.31

Valeurs
intermédiaires

Concentration faible Concentration élevée

Chaque micropolluant a ses propres couleurs

Le Chenit	Leysin	Lucens	Lutry	Montreux	Morges	Nyon	Ollon	Orbe	Payenne	Penthaz	Pully	Roche	Rolle	Sainte-Croix	Savigny Pra charbon	Servion	Valcorbe	Vevey	Yverdon-les-Bains	Yvonand	Médiane
1.55	0.82	1.03	0.87	1.66	1.06	0.69	0.48	1.33	1.41	1.53	0.93	1.10	0.38	1.61	1.02	1.76	0.30	1.51	2.08	1.06	1.13
0.53	0.54	0.91	0.88	0.79	1.38	0.99	0.55	0.79	1.25	1.34	0.88	0.82	0.68	0.77	1.32	1.82	0.51	1.07	0.99	0.79	0.95
1.01	0.56	1.65	1.82	1.74	2.43	73.16	1.33	1.82	2.32	1.64	2.01	1.46	1.06	2.04	2.19	2.53	0.79	1.95	2.08	2.00	1.82
5.83	3.90	7.80	6.83	7.38	10.28	9.96	5.46	10.11	13.32	10.93	6.69	7.21	6.02	7.76	9.16	13.02	3.84	9.69	9.92	12.80	9.81
0.30	0.08	0.20	0.23	0.22	0.33	0.36	0.11	0.27	0.30	0.23	0.29	0.26	0.14	0.79	0.26	0.24	0.12	0.34	0.29	0.14	0.25
0.85	0.91	1.52	2.15	1.59	2.13	1.91	1.74	1.80	1.44	2.11	2.28	1.57	1.47	1.30	3.11	4.53	0.54	1.95	1.13	1.27	1.85
116.50	54.46	61.22	96.07	103.21	116.68	94.97	38.22	106.35	148.95	111.95	78.41	60.43	43.48	145.60	119.51	128.57	60.61	127.54	126.05	164.36	109.15
0.92	0.31	0.43	0.64	0.93	1.04	0.71	0.27	0.88	0.93	1.04	0.70	0.42	0.45	0.62	0.95	1.57	0.25	1.17	0.93	1.53	0.83
0.25	0.23	0.17	0.22	0.27	0.37	0.39	0.22	0.17	0.77	0.34	0.21	0.28	0.21	0.26	0.27	0.44	0.13	0.39	0.26	0.11	0.27
0.03	0.02	0.01	0.03	0.03	0.04	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.04	0.04	0.04	0.02	0.03	0.03	0.04	0.03
0.09	0.01	0.05	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.05	0.02	0.01	0.02	0.03	0.24	0.03
0.41	0.14	0.40	0.43	0.44	0.64	0.56	0.17	0.49	0.59	0.63	0.52	0.34	0.36	0.31	0.52	1.28	0.18	0.58	0.59	0.86	0.50
0.06	0.06	0.39	0.08	0.09	0.18	0.19	0.07	0.12	0.15	0.23	0.17	0.09	0.14	0.20	0.07	0.11	0.08	0.12	0.09	0.11	0.12
0.20	0.08	0.10	0.15	0.22	0.26	0.17	0.08	0.19	0.24	0.24	0.19	0.13	0.11	0.14	0.19	0.38	0.07	0.27	0.23	0.31	0.19
0.16	0.28	0.30	0.28	0.34	0.20	0.12	0.03	0.70	0.11	0.15	0.30	0.14	0.38	1.18	0.23	0.17	0.13	0.58	0.78	0.39	0.28
0.56	0.22	0.61	1.01	0.75	1.36	0.98	0.54	0.94	0.62	1.28	1.02	0.65	0.70	0.85	1.37	1.81	0.34	1.01	1.00	1.17	0.99
0.42	0.11	0.07	0.82	0.44	0.32	0.28	0.29	0.99	0.58	1.29	0.37	0.20	0.38	0.47	0.95	0.12	0.09	0.55	0.48	0.35	0.41
0.52	0.22	0.56	0.52	0.49	0.70	0.39	0.24	0.42	0.62	0.53	0.48	0.35	0.44	0.39	0.81	0.61	0.13	0.54	0.61	0.64	0.52
0.09	0.06	0.38	0.18	0.15	0.37	0.32	0.09	0.25	0.45	0.35	0.19	0.24	0.20	0.38	0.53	0.98	0.07	0.27	0.36	0.14	0.30
0.15	0.07	0.14	0.14	0.17	0.23	0.14	0.11	0.23	0.25	0.15	0.14	0.14	0.14	0.28	0.21	0.16	0.11	0.20	0.31	0.35	0.16
2.36	1.19	1.78	1.12	1.97	2.82	1.57	1.11	2.63	2.83	2.24	1.80	2.44	1.30	2.86	1.32	2.12	0.99	2.45	2.77	5.12	2.30
0.19	0.02	0.23	0.11	0.13	0.18	0.20	0.26	0.06	0.18	0.10	0.08	0.13	0.09	0.32	0.04	0.26	0.08	0.15	0.31	0.08	0.13
1.24	0.58	1.24	1.34	1.40	1.98	1.36	0.92	1.64	1.62	1.97	1.34	1.30	1.17	1.66	1.97	1.54	0.63	1.56	1.65	1.67	1.63
1.64	0.69	1.32	1.88	1.83	3.56	2.11	1.12	1.28	1.74	3.58	1.71	1.63	1.77	1.88	2.20	2.67	0.73	2.02	1.76	2.55	1.88
64.93	38.39	58.10	55.79	77.10	90.46	70.24	44.30	81.62	106.62	82.59	54.05	62.94	50.46	84.33	81.16	123.39	44.16	87.74	80.58	89.77	78.84
0.57	0.16	0.54	0.55	0.52	1.10	0.46	0.22	0.65	0.74	0.78	0.49	0.68	0.41	0.65	0.75	0.86	0.42	0.65	0.91	1.12	0.65
0.05	0.04	0.04	0.06	0.10	0.08	0.05	0.03	0.07	0.11	0.06	0.06	0.05	0.05	0.08	0.04	0.06	0.03	0.08	0.10	0.10	0.06
0.55	0.24	0.44	0.40	0.47	0.39	0.39	0.21	0.44	0.83	0.71	0.36	0.31	0.25	0.91	0.36	0.44	0.27	0.57	0.78	1.25	0.43
0.14	0.10	0.16	0.13	0.13	0.15	0.11	0.11	0.18	0.18	0.13	0.12	0.16	0.10	0.18	0.20	0.11	0.14	0.14	0.16	0.19	0.13
0.06	0.02	0.09	0.06	0.06	0.09	0.06	0.04	0.07	0.12	0.09	0.08	0.05	0.04	0.06	0.10	0.12	0.05	0.09	0.10	0.16	0.07
0.29	0.11	0.44	0.31	0.61	0.53	0.18	0.31	0.21	0.64	0.47	0.30	0.34	0.30	0.48	0.32	0.44	0.04	0.82	0.38	0.40	0.32
0.20	0.13	0.21	0.18	0.16	0.39	0.26	0.11	0.28	0.27	0.26	0.23	0.16	0.64	0.29	0.22	0.29	0.08	0.38	0.47	0.40	0.26
0.04	0.02	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.43	0.03	0.04	0.05	0.04	0.07	0.04	0.05	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04
0.87	0.51	3.47	2.41	3.10	2.86	1.88	3.82	1.88	2.52	4.87	2.61	3.36	1.87	2.17	3.97	4.83	0.83	2.38	2.03	3.58	3.20
0.03	0.01	0.01	0.03	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.04	0.02	0.01	0.11	0.02	0.01	0.03	0.01	0.01	0.02	0.03	0.02
0.02	0.01	0.05	0.02	0.02	0.03	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.05	0.02	0.02
0.06	0.02	0.06	0.15	0.05	0.08	0.19	0.05	0.04	0.98	0.04	0.15	0.06	0.07	0.10	0.04	0.08	0.04	0.16	0.08	0.13	0.08
0.004	0.001	0.006	0.002	0.004	0.010	0.008	0.003	0.003	0.013	0.003	0.004	0.005	0.003	0.014	0.002	0.002	0.035	0.005	0.002	0.003	0.004
0.15	0.12	0.13	0.69	0.15	0.16	0.15	0.10	0.18	0.13	0.98	0.14	0.16	0.23	0.15	0.22	0.15	0.12	0.34	0.14	0.16	0.16
0.11	0.07	0.12	0.24	0.14	0.17	0.20	0.10	0.11	0.27	1.14	0.12	0.31	0.10	0.08	0.11	0.11	0.14	0.23	0.13	0.09	0.17
18.23	0.54	2.94	1.59	1.82	2.64	3.85	1.66	1.80	2.52	1.80	1.30	3.78	1.41	1.33	1.64	1.70	0.54	2.02	2.18	3.05	2.09
28.02	2.05	4.77	4.24	5.00	6.52	7.01	3.35	27.76	5.69	4.85	4.91	7.96	3.30	5.58	5.62	4.85	12.64	5.68	5.29	6.08	5.69

Annexe 2

Charge moyenne en entrée de STEP [g/j] durant la période 2014-2019

Charge en entrée		Aigle	Aubonne	Avenches	Bercher II Foyrausaz	Bioley-Orjulaz	Bremblens	Breigny-sur-Morrens	Bussigny	Château-d'Œx	Commugny	Echallens	Eclépens	Gland	La Sarraz	Lausanne
Médicaments – Analgésiques	Acetamidoantipyrine	6.00	0.72	3.27	1.06	0.61	1.17	1.14	2.78	2.16	2.72	3.10	0.26	5.45	1.22	143.62
	Acide méfénamique	3.98	1.05	1.62	0.72	0.69	1.44	1.16	2.84	0.87	4.64	2.07	0.21	7.44	0.67	80.07
	Diclofénac	5.76	1.86	4.04	1.02	1.35	2.66	1.81	5.12	1.85	7.92	4.12	0.70	13.20	1.66	122.94
	Ibuprofène	40.74	11.41	15.66	7.73	8.95	14.22	9.48	28.65	6.03	56.32	20.47	3.47	87.12	6.97	928.66
	Ketoprofen	0.71	0.25	0.47	0.46	0.19	0.55	0.15	1.42	0.15	1.25	0.46	0.09	1.89	0.22	24.94
	Naproxène	7.42	3.72	3.57	0.63	1.29	2.58	1.95	5.83	2.25	9.97	5.23	0.51	17.44	1.12	193.32
	Paracetamol	588.83	121.29	160.90	66.09	79.73	145.76	117.66	368.87	134.52	319.82	239.74	37.64	735.72	115.93	9172.14
Médicaments – Antibiotiques	Acetylsulfamethoxazole	3.75	1.02	1.19	0.32	0.81	1.47	0.92	1.97	0.76	3.37	1.96	0.20	5.69	1.15	78.53
	Clarithromycine	0.91	0.41	0.43	0.30	0.15	0.38	0.21	0.79	0.34	2.32	0.39	0.10	2.94	0.33	33.14
	Clindamycine	0.13	0.04	0.03	0.01	0.02	0.03	0.03	0.07	0.04	0.17	0.05	0.01	0.23	0.01	3.89
	Sulfaméthazine	0.06	0.03	0.47	0.02	0.06	0.05	0.02	0.06	0.04	0.15	0.21	0.02	0.24	0.02	12.17
	Sulfaméthoxazole	1.99	0.54	0.86	0.16	0.44	0.78	0.42	1.01	0.38	2.72	1.18	0.13	3.34	0.73	50.05
	Sulfapyridine	0.28	0.14	0.52	0.06	0.20	0.18	0.11	0.52	0.10	0.78	0.23	0.06	1.23	0.06	12.28
	Triméthoprim	0.81	0.25	0.32	0.07	0.17	0.31	0.17	0.47	0.19	0.85	0.47	0.05	1.32	0.28	22.43
Médicaments – Autres	Amisulpride	0.59	0.66	0.12	0.28	0.45	0.36	0.09	0.32	0.78	0.23	1.54	0.01	3.28	0.14	59.61
	Aténolol	2.73	0.87	1.41	0.51	0.78	2.61	1.10	4.53	1.24	5.67	2.47	0.59	6.99	1.47	72.81
	Bézafibrate	1.56	0.07	0.83	0.36	0.25	0.94	1.27	4.75	0.54	1.82	0.86	0.12	2.54	0.60	40.96
	Candésartan	1.11	0.50	1.12	0.56	0.59	0.93	0.47	0.93	0.73	2.73	1.57	0.08	3.95	0.15	38.61
	Carbamazépine	0.49	0.80	0.37	0.04	0.58	0.49	0.22	0.83	0.52	1.03	0.73	0.23	1.60	0.04	18.71
	Citalopram	0.57	0.28	0.38	0.18	0.16	0.23	0.17	0.44	0.19	0.76	0.31	0.05	1.35	0.20	15.35
	Gabapentine	7.18	3.60	3.08	3.70	4.36	0.66	1.87	0.92	4.76	7.13	7.06	1.81	26.26	1.54	201.75
	Gemfibrozile	1.56	0.05	0.02	0.63	0.15	0.06	0.01	0.30	0.41	0.44	0.27	0.12	0.88	0.14	10.62
	Hydrochlorothiazide	5.60	1.84	2.68	1.20	1.18	2.79	1.56	4.46	1.49	7.98	3.52	0.81	12.74	1.15	130.61
	Irbésartan	5.45	3.21	2.88	1.08	1.53	4.17	1.60	5.92	2.25	13.64	4.38	0.47	18.51	1.27	139.12
	Metformine	348.54	103.09	126.16	48.64	51.57	95.70	72.87	322.04	75.17	296.74	165.05	29.13	617.93	53.97	6658.96
	Métoprolol	1.76	0.90	1.24	0.52	0.77	0.94	0.60	1.65	0.81	2.68	1.88	0.24	4.56	0.63	40.12
	Mirtazapine	0.31	0.11	0.13	0.04	0.03	0.08	0.04	0.15	0.10	0.20	0.10	0.01	0.43	0.07	5.86
	Pravastatine	1.69	0.45	1.17	0.40	0.36	0.50	0.27	1.09	0.47	1.94	1.03	0.14	3.21	0.38	28.91
	Primidone	0.46	0.52	0.13	0.08	0.07	0.15	0.09	0.38	0.26	0.78	0.21	0.06	0.95	0.46	11.97
	Propranolol	0.26	0.08	0.09	0.05	0.05	0.14	0.06	0.25	0.06	0.34	0.23	0.03	0.46	0.08	6.85
	Sotalol	1.43	0.35	0.64	0.05	0.21	0.57	0.18	0.72	0.16	1.17	1.07	0.08	2.39	0.11	20.71
	Venlafaxine	0.77	0.33	0.35	0.18	0.19	0.39	0.16	1.16	0.14	1.10	0.73	0.08	1.90	0.23	25.43
Pesticides	Carbendazime	0.23	0.06	0.06	0.03	0.03	0.06	0.03	0.11	0.05	0.27	0.29	0.10	0.43	0.03	4.27
	DEET	6.30	3.55	5.42	3.26	2.94	6.34	6.28	7.77	1.53	20.29	7.68	1.26	25.17	3.31	98.58
	Diazinon	0.04	0.02	0.06	0.08	0.07	0.10	0.02	0.04	0.02	0.22	0.03	0.04	0.25	0.01	0.99
	Diméthoate	0.04	0.03	0.02	0.01	0.06	0.02	0.01	0.05	0.02	0.10	0.03	0.10	0.14	0.07	1.41
	Diuron	0.67	0.09	0.09	0.04	0.86	0.10	0.03	0.18	0.05	1.72	0.16	0.61	1.20	0.02	4.82
	Isoproturon	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.06	0.14	0.07	0.03	0.00	0.61
	MCPA	0.49	0.15	0.15	0.98	0.10	1.16	0.19	0.35	0.23	0.87	0.27	8.12	2.26	0.50	45.12
	Mécoprop	0.73	0.28	0.27	0.17	0.19	0.22	0.11	0.61	0.29	0.95	0.26	1.11	1.40	0.14	35.26
Produits anticorrosifs	4-et 5-méthylbenzotriazole	6.25	5.36	10.63	1.37	1.68	5.47	2.54	19.76	1.73	17.11	3.24	8.82	16.96	3.25	131.58
	Benzotriazole	15.98	10.75	14.78	3.72	4.39	14.32	5.06	40.76	6.53	25.45	12.19	87.13	56.20	3.89	435.59

Valeurs
intermédiaires

Charge faible  Charge élevée

Le Chenit	Leysin	Lucens	Lutry	Montreux	Morges	Nyon	Olon	Orbe	Payenne	Penthaz	Pully	Roche	Rolle	Sainte-Croix	Savigny Pra charbon	Servion	Valorbe	Vevey	Yverdon-les-Bains	Yvonand	Total
3.89	1.57	4.23	2.36	22.25	10.35	5.46	1.53	5.08	4.64	3.51	4.78	3.65	1.34	2.31	0.78	0.68	0.74	23.58	21.45	0.78	300.2
1.51	1.11	3.74	2.40	11.11	13.21	7.74	1.90	3.09	4.48	3.20	4.80	2.78	2.53	1.19	1.04	0.76	1.15	17.09	10.55	0.61	205.5
2.73	1.09	6.86	5.01	23.83	23.68	597.01	4.37	7.06	8.09	4.08	10.82	4.90	3.84	3.04	1.79	1.07	1.79	30.87	21.89	1.57	941.4
15.26	7.54	32.34	18.72	100.30	99.79	78.78	17.71	39.29	45.21	26.78	36.29	24.09	21.69	10.84	7.33	5.65	8.62	153.01	104.56	9.99	2110
0.80	0.15	0.80	0.65	3.04	3.26	2.90	0.37	1.06	1.07	0.58	1.56	0.86	0.50	1.10	0.21	0.09	0.30	5.48	3.03	0.11	61.1
2.40	1.65	6.37	5.89	21.45	20.55	15.15	5.25	6.91	4.74	5.24	12.12	5.25	5.28	1.76	2.44	1.75	1.17	30.86	12.29	1.05	426.4
305.23	102.74	258.70	260.97	1413.71	1130.35	765.55	126.09	415.04	509.45	270.89	427.02	206.17	163.58	206.60	97.60	56.25	134.71	2038.74	1323.63	126.47	22744
2.38	0.60	1.80	1.82	12.77	10.11	5.50	0.84	3.41	3.18	2.47	3.94	1.52	1.56	1.01	0.76	0.65	0.57	18.53	9.83	1.27	187.6
0.72	0.47	0.71	0.57	3.79	3.69	3.09	0.74	0.66	2.60	0.88	1.15	0.95	0.78	0.42	0.25	0.18	0.29	6.15	2.78	0.10	74.1
0.09	0.04	0.06	0.08	0.44	0.38	0.17	0.08	0.09	0.10	0.04	0.16	0.09	0.08	0.08	0.03	0.02	0.05	0.48	0.27	0.03	7.6
0.35	0.03	0.18	0.06	0.33	0.27	0.18	0.07	0.11	0.09	0.06	0.12	0.07	0.07	0.03	0.04	0.01	0.03	0.40	0.30	0.14	16.6
0.98	0.25	1.65	1.19	5.91	6.12	4.35	0.53	1.89	1.94	1.55	2.83	1.15	1.20	0.47	0.39	0.50	0.39	8.84	6.01	0.70	113.6
0.19	0.13	1.58	0.24	1.20	1.74	1.50	0.26	0.46	0.55	0.52	0.96	0.32	0.50	0.28	0.07	0.05	0.19	1.91	0.98	0.08	30.5
0.52	0.16	0.41	0.42	3.10	2.55	1.36	0.27	0.72	0.78	0.58	1.04	0.46	0.38	0.20	0.14	0.16	0.17	4.29	2.40	0.26	48.5
0.41	0.56	1.25	0.78	4.38	1.91	1.00	0.09	2.71	0.34	0.37	1.56	0.46	1.30	1.61	0.21	0.05	0.27	8.52	8.01	0.36	104.6
1.57	0.42	2.54	2.86	10.24	13.05	7.74	1.84	3.66	2.24	3.07	5.55	2.20	2.56	1.42	1.24	0.76	0.80	15.92	10.53	0.89	196.9
1.22	0.25	0.29	2.32	6.03	3.10	2.20	1.00	3.82	1.99	3.07	2.00	0.68	1.35	0.65	0.78	0.05	0.22	8.94	5.01	0.25	102.7
1.34	0.43	2.32	1.41	6.39	6.91	3.18	0.71	1.61	2.02	1.36	2.58	1.14	1.53	0.53	0.61	0.28	0.29	8.12	6.19	0.45	103.5
0.21	0.11	1.59	0.52	1.96	3.61	2.53	0.30	0.98	1.53	0.86	1.06	0.80	0.70	0.56	0.44	0.44	0.14	4.13	3.69	0.12	52.9
0.41	0.14	0.60	0.39	2.23	2.29	1.16	0.38	0.89	0.81	0.39	0.80	0.52	0.51	0.38	0.16	0.07	0.24	3.03	3.15	0.26	39.4
6.15	2.14	7.32	3.09	26.64	27.44	12.40	3.58	10.07	9.60	5.36	9.72	8.06	4.52	4.08	1.06	0.88	2.28	39.25	28.87	3.19	491.4
0.53	0.03	0.94	0.31	1.70	1.71	1.58	0.80	0.25	0.68	0.26	0.45	0.44	0.31	0.45	0.03	0.10	0.17	2.43	3.26	0.08	32.2
3.27	1.12	5.12	3.70	18.33	19.30	11.15	2.77	6.30	5.31	5.12	7.31	4.29	4.35	2.19	1.50	0.68	1.38	22.98	16.98	1.20	323.9
4.41	1.38	5.45	5.10	23.90	34.95	17.12	3.36	4.86	5.69	8.95	9.31	5.25	6.12	2.57	1.63	1.19	1.61	30.19	17.89	1.84	398.2
175.98	75.10	242.30	153.96	1044.22	878.36	559.15	142.27	316.16	364.36	200.52	295.51	212.42	179.78	119.55	65.73	53.51	98.28	1383.43	855.40	69.12	16551
1.48	0.31	2.26	1.53	7.07	10.72	3.69	0.70	2.55	2.50	1.92	2.72	2.34	1.44	0.91	0.60	0.37	0.93	10.29	9.55	0.85	124.0
0.13	0.07	0.18	0.18	1.22	0.75	0.37	0.08	0.26	0.35	0.14	0.31	0.15	0.16	0.11	0.03	0.02	0.06	1.16	1.03	0.08	14.5
1.55	0.50	1.83	1.12	6.46	3.81	3.10	0.77	1.69	2.88	1.69	1.97	1.03	0.91	1.35	0.30	0.20	0.60	9.17	8.15	0.97	92.1
0.47	0.23	0.68	0.37	1.82	1.51	0.89	0.41	0.71	0.63	0.32	0.66	0.53	0.36	0.32	0.17	0.06	0.33	2.24	1.66	0.16	31.1
0.16	0.04	0.37	0.17	0.86	0.83	0.44	0.12	0.27	0.44	0.23	0.45	0.16	0.14	0.09	0.08	0.05	0.10	1.44	1.06	0.12	16.7
0.84	0.21	1.84	0.83	8.19	5.11	1.38	1.08	0.82	2.23	1.13	1.64	1.12	1.10	0.66	0.25	0.17	0.09	12.73	3.99	0.30	75.5
0.54	0.38	0.88	0.49	2.16	3.75	2.11	0.38	1.10	0.92	0.63	1.26	0.55	2.65	0.41	0.17	0.12	0.18	6.56	4.70	0.31	63.4
0.12	0.05	0.15	0.11	0.58	0.49	0.34	0.12	0.16	1.59	0.07	0.23	0.16	0.15	0.09	0.03	0.02	0.06	0.68	0.43	0.03	11.7
2.06	0.97	13.47	7.07	39.94	27.50	14.09	10.90	7.12	8.68	11.70	13.41	11.74	5.92	3.67	2.91	1.90	1.66	35.90	22.30	2.46	445.1
0.07	0.02	0.06	0.09	0.46	0.16	0.14	0.03	0.05	0.07	0.08	0.09	0.04	0.58	0.03	0.01	0.01	0.03	0.23	0.18	0.02	4.4
0.05	0.02	0.21	0.04	0.22	0.28	0.11	0.04	0.08	0.06	0.04	0.09	0.12	0.11	0.03	0.01	0.01	0.03	0.23	0.55	0.02	4.5
0.21	0.04	0.26	0.40	0.73	0.87	1.52	0.18	0.17	3.70	0.11	0.84	0.24	0.29	0.17	0.03	0.03	0.09	4.47	0.81	0.16	25.9
0.02	0.00	0.03	0.01	0.06	0.10	0.06	0.01	0.01	0.06	0.01	0.03	0.02	0.01	0.02	0.00	0.00	0.06	0.07	0.03	0.00	1.6
0.48	0.35	0.56	1.66	2.04	1.51	1.06	0.31	0.69	0.42	2.30	0.71	0.60	0.79	0.25	0.32	0.07	0.27	6.05	1.51	0.13	83.0
0.32	0.14	0.50	0.64	2.01	1.73	1.58	0.34	0.43	1.06	2.96	0.77	1.10	0.35	0.15	0.10	0.05	0.33	3.82	1.50	0.08	61.9
38.40	1.20	12.78	4.45	25.43	25.54	30.10	5.91	6.89	8.87	4.42	7.06	13.74	5.25	2.32	1.50	0.90	1.29	33.08	23.06	2.33	490.3
59.39	3.99	19.68	11.87	68.93	63.48	54.57	11.94	107.69	19.93	11.81	29.03	27.86	12.12	8.23	5.28	2.20	28.56	91.90	55.50	5.11	1437



Annexe 3

Charges en entrée de STEP en fonction du bassin versant des STEP analysées

Charge moyenne en micropolluant [g/j]		Bassin versant			
		Le Léman	Lac de Morat	Lac Neuchâtel	Sarine
Médicaments – Analgésiques	Acetamidoantipyrine	244.3	13.6	40.2	2.2
	Acide méfénamique	170.2	11.6	22.7	0.9
	Diclofénac	871.3	21.9	46.4	1.8
	Ibuprofène	1'762.2	106.2	235.2	6.0
	Ketoprofen	50.7	2.6	7.7	0.1
	Naproxène	370.6	18.9	34.7	2.2
	Paracetamol	18'511.8	1'082.9	3'014.9	134.5
Médicaments – Antibiotiques	Acetylsulfamethoxazole	156.8	7.6	22.5	0.8
	Clarithromycine	63.6	4.2	6.0	0.3
	Clindamycine	6.6	0.2	0.7	0.0
	Sulfaméthazine	14.5	0.8	1.3	0.0
	Sulfaméthoxazole	95.2	5.3	12.6	0.4
	Sulfapyridine	24.8	2.8	2.8	0.1
	Triméthoprim	41.4	1.8	5.1	0.2
Médicaments – Autres	Amisulpride	86.1	2.0	15.7	0.8
	Aténolol	163.7	8.2	23.7	1.2
	Béazafibrate	84.3	3.9	13.9	0.5
	Candésartan	82.8	6.4	13.6	0.7
	Carbamazépine	40.8	4.4	7.3	0.5
	Citalopram	31.1	2.0	6.1	0.2
	Gabapentine	393.1	21.9	71.6	4.8
	Gemfibrozile	24.2	1.8	5.8	0.4
	Hydrochlorothiazide	268.4	15.3	38.8	1.5
	Irbésartan	337.4	16.8	41.8	2.3
	Metformine	13'650.8	852.1	1'972.6	75.2
	Métoprolol	96.2	7.0	20.0	0.8
	Mirtazapine	11.8	0.7	1.9	0.1
	Pravastatine	68.8	6.4	16.4	0.5
	Primidone	25.1	1.7	4.1	0.3
	Propranolol	13.4	1.0	2.2	0.1
	Sotalol	62.0	5.1	8.2	0.2
	Venlafaxine	52.3	2.4	8.5	0.1
Pesticides	Carbendazime	8.5	1.9	1.3	0.0
	DEET	351.7	32.4	59.4	1.5
	Diazinon	3.6	0.2	0.6	0.0
	Diméthoate	3.3	0.3	0.9	0.0
	Diuron	19.1	4.1	2.7	0.0
	Isoproturon	1.2	0.1	0.3	0.0
	MCPA	76.4	1.5	4.9	0.2
	Mécoprop	56.1	2.0	3.5	0.3
Produits anticorrosifs	4-et 5-méthylbenzotriazole	370.7	34.7	83.1	1.7
	Benzotriazole	1'077.6	61.9	289.8	6.5
Somme		39'845	2'379	6'172	250.2
Somme rétro-calculée en fonction de la proportion d'habitants raccordés		44'393	3'390	9'696	381.2

Annexe 4

Charge spécifique moyenne par habitant [mg/hab/j] pour chaque STEP et chaque micropolluant

Charge spécifique par habitant		Aigle	Aubonne	Avenches	Bercher II Foyrausz	Bioley-Orjulaz	Bremblens	Bretigny-sur-Morrens	Bussigny	Château-d'Œx	Commugny	Echallens	Eclépens	Gland	La Sarraz	Lausanne
Médicaments – Analgésiques	Acetamidoantipyrine	0.607	0.141	0.685	0.540	0.178	0.240	0.242	0.248	0.783	0.127	0.398	0.249	0.160	0.331	0.609
	Acide méfénamique	0.405	0.204	0.341	0.369	0.203	0.297	0.247	0.257	0.322	0.216	0.268	0.199	0.221	0.182	0.341
	Diclofénac	0.584	0.361	0.844	0.516	0.399	0.546	0.386	0.460	0.679	0.368	0.533	0.654	0.389	0.450	0.523
	Ibuprofène	4.130	2.214	3.278	3.938	2.637	2.923	2.022	2.560	2.212	2.620	2.637	3.297	2.579	1.890	3.967
	Ketoprofen	0.071	0.049	0.099	0.237	0.055	0.114	0.033	0.126	0.054	0.058	0.059	0.086	0.056	0.061	0.106
	Naproxène	0.752	0.721	0.746	0.321	0.380	0.530	0.417	0.522	0.822	0.464	0.670	0.485	0.516	0.303	0.820
	Paracetamol	59.712	23.551	33.707	33.684	23.487	29.942	25.097	32.995	49.358	14.884	30.879	35.741	21.772	31.468	38.899
Médicaments – Antibiotiques	Acetylsulfamethoxazole	0.380	0.198	0.250	0.165	0.240	0.301	0.198	0.176	0.278	0.157	0.254	0.195	0.169	0.312	0.333
	Clarithromycine	0.092	0.079	0.089	0.152	0.043	0.078	0.046	0.071	0.127	0.108	0.051	0.091	0.087	0.091	0.141
	Clindamycine	0.013	0.008	0.007	0.007	0.007	0.005	0.005	0.006	0.013	0.008	0.006	0.011	0.007	0.003	0.017
	Sulfaméthazine	0.006	0.007	0.101	0.010	0.017	0.011	0.004	0.005	0.015	0.007	0.026	0.020	0.007	0.006	0.052
	Sulfaméthoxazole	0.201	0.105	0.179	0.081	0.130	0.159	0.091	0.090	0.140	0.126	0.152	0.128	0.099	0.199	0.213
	Sulfapyridine	0.028	0.028	0.109	0.031	0.059	0.037	0.024	0.046	0.039	0.036	0.031	0.060	0.036	0.017	0.052
	Triméthoprim	0.082	0.048	0.068	0.034	0.051	0.064	0.037	0.042	0.070	0.039	0.060	0.045	0.039	0.076	0.095
Médicaments – Autres	Amisulpride	0.059	0.128	0.025	0.139	0.132	0.074	0.020	0.028	0.275	0.011	0.192	0.010	0.095	0.037	0.251
	Aténolol	0.278	0.170	0.297	0.263	0.232	0.542	0.235	0.408	0.462	0.265	0.323	0.567	0.208	0.399	0.310
	Bézafibrate	0.158	0.013	0.174	0.184	0.073	0.193	0.268	0.421	0.198	0.085	0.111	0.120	0.076	0.163	0.174
	Candésartan	0.112	0.096	0.234	0.281	0.172	0.190	0.099	0.082	0.258	0.126	0.197	0.078	0.114	0.041	0.163
	Carbamazépine	0.049	0.156	0.077	0.019	0.171	0.100	0.048	0.076	0.190	0.048	0.095	0.222	0.047	0.011	0.080
	Citalopram	0.058	0.055	0.078	0.091	0.046	0.048	0.036	0.039	0.065	0.035	0.039	0.049	0.039	0.055	0.065
	Gabapentine	0.729	0.701	0.648	1.892	1.285	0.134	0.401	0.082	1.787	0.332	0.913	1.722	0.779	0.418	0.858
	Gemfibrozile	0.159	0.009	0.004	0.321	0.043	0.012	0.003	0.027	0.152	0.021	0.035	0.120	0.027	0.039	0.045
	Hydrochlorothiazide	0.567	0.356	0.558	0.604	0.346	0.568	0.331	0.394	0.522	0.368	0.445	0.762	0.369	0.312	0.551
	Irbésartan	0.549	0.620	0.598	0.542	0.448	0.846	0.338	0.520	0.791	0.629	0.552	0.441	0.536	0.343	0.586
	Metformine	35.325	20.007	26.428	24.798	15.179	19.686	15.566	28.840	27.484	13.808	21.283	27.774	18.239	14.633	28.244
	Métoprolol	0.178	0.175	0.259	0.263	0.227	0.192	0.129	0.148	0.296	0.124	0.243	0.226	0.135	0.172	0.170
	Mirtazapine	0.032	0.021	0.028	0.019	0.008	0.015	0.008	0.014	0.035	0.009	0.013	0.012	0.013	0.018	0.025
	Pravastatine	0.172	0.087	0.247	0.202	0.105	0.105	0.057	0.099	0.174	0.091	0.135	0.129	0.095	0.104	0.123
	Primidone	0.047	0.101	0.027	0.040	0.021	0.030	0.019	0.034	0.095	0.037	0.026	0.053	0.028	0.124	0.051
	Propranolol	0.027	0.016	0.018	0.026	0.016	0.030	0.013	0.023	0.021	0.016	0.030	0.027	0.014	0.021	0.029
	Sotalol	0.144	0.069	0.133	0.026	0.061	0.116	0.038	0.065	0.061	0.054	0.137	0.073	0.071	0.029	0.088
	Venlafaxine	0.077	0.064	0.073	0.092	0.057	0.080	0.034	0.103	0.052	0.051	0.094	0.080	0.056	0.063	0.108
Pesticides	Carbendazime	0.023	0.011	0.012	0.015	0.009	0.013	0.007	0.010	0.017	0.013	0.038	0.098	0.013	0.008	0.018
	DEET	0.644	0.689	1.134	1.654	0.864	1.307	1.346	0.705	0.566	0.944	0.993	1.201	0.742	0.899	0.419
	Diazinon	0.004	0.004	0.013	0.040	0.020	0.021	0.004	0.003	0.008	0.010	0.004	0.034	0.007	0.002	0.004
	Diméthoate	0.004	0.005	0.004	0.006	0.017	0.004	0.003	0.005	0.009	0.004	0.004	0.099	0.004	0.020	0.006
	Diuron	0.068	0.017	0.018	0.022	0.251	0.021	0.006	0.016	0.018	0.080	0.021	0.562	0.036	0.006	0.021
	Isoproturon	0.002	0.001	0.001	0.007	0.001	0.002	0.000	0.002	0.001	0.003	0.018	0.062	0.001	0.001	0.003
	MCPA	0.049	0.030	0.032	0.510	0.029	0.248	0.040	0.031	0.084	0.040	0.034	7.939	0.067	0.134	0.190
	Mécoprop	0.074	0.054	0.057	0.090	0.057	0.045	0.022	0.054	0.105	0.044	0.034	1.056	0.041	0.038	0.149
Produits anticorrosifs	4-et 5-méthylbenzotriazole	0.634	1.046	2.231	0.700	0.496	1.126	0.550	1.805	0.668	0.797	0.427	8.175	0.509	0.885	0.563
	Benzotriazole	1.626	2.094	3.089	1.897	1.307	2.947	1.086	3.698	2.427	1.187	1.574	83.293	1.672	1.057	1.857

Valeurs
intermédiaires

Charge faible Charge élevée

Le Chenit	Leysin	Lucens	Lutry	Montreux	Morges	Nyon	Ollon	Orbe	Payenne	Penthaz	Pully	Roche	Rolle	Sainte-Croix	Savigny Pra charbon	Servion	Valloirbe	Vevey	Yverdon-les-Bains	Yvonand	Médiane
0.840	0.391	0.285	0.228	0.564	0.297	0.233	0.208	0.544	0.435	0.367	0.219	0.390	0.132	0.501	0.248	0.306	0.201	0.457	0.651	0.246	0.301
0.328	0.276	0.252	0.233	0.283	0.381	0.332	0.257	0.332	0.423	0.335	0.220	0.299	0.251	0.259	0.331	0.341	0.313	0.332	0.320	0.195	0.290
0.590	0.273	0.462	0.487	0.604	0.680	25.685	0.596	0.757	0.764	0.425	0.495	0.523	0.381	0.662	0.567	0.476	0.485	0.598	0.664	0.490	0.523
3.297	1.885	2.178	1.818	2.547	2.872	3.378	2.409	4.205	4.261	2.800	1.661	2.583	2.148	2.345	2.326	2.531	2.334	2.971	3.173	3.140	2.601
0.174	0.039	0.054	0.063	0.077	0.094	0.124	0.050	0.114	0.101	0.061	0.071	0.092	0.050	0.239	0.067	0.042	0.083	0.107	0.092	0.034	0.071
0.520	0.413	0.420	0.572	0.544	0.591	0.650	0.716	0.741	0.447	0.549	0.555	0.563	0.523	0.379	0.773	0.784	0.316	0.599	0.372	0.332	0.537
65.998	25.669	17.654	25.388	35.929	32.562	32.836	17.168	44.472	48.096	28.368	19.550	22.169	16.198	44.877	30.979	25.191	36.638	39.587	40.224	39.908	32.015
0.513	0.150	0.125	0.176	0.325	0.291	0.235	0.114	0.365	0.301	0.260	0.181	0.163	0.154	0.222	0.241	0.292	0.152	0.360	0.299	0.404	0.240
0.158	0.116	0.048	0.056	0.096	0.106	0.132	0.101	0.071	0.245	0.092	0.052	0.101	0.078	0.092	0.079	0.083	0.080	0.119	0.085	0.032	0.090
0.020	0.010	0.004	0.008	0.011	0.011	0.007	0.011	0.009	0.010	0.004	0.007	0.010	0.008	0.017	0.009	0.007	0.012	0.009	0.008	0.009	0.008
0.076	0.008	0.013	0.006	0.009	0.008	0.008	0.009	0.012	0.008	0.006	0.005	0.008	0.007	0.008	0.013	0.005	0.009	0.008	0.009	0.045	0.008
0.211	0.063	0.111	0.115	0.150	0.176	0.186	0.072	0.203	0.183	0.162	0.130	0.123	0.119	0.102	0.124	0.223	0.103	0.171	0.182	0.221	0.135
0.041	0.033	0.121	0.023	0.031	0.050	0.064	0.036	0.050	0.053	0.055	0.044	0.034	0.050	0.062	0.022	0.023	0.052	0.037	0.030	0.026	0.037
0.113	0.039	0.028	0.041	0.079	0.073	0.058	0.037	0.078	0.074	0.061	0.048	0.049	0.038	0.043	0.044	0.072	0.045	0.083	0.073	0.082	0.055
0.089	0.141	0.083	0.075	0.110	0.054	0.042	0.012	0.288	0.032	0.038	0.071	0.048	0.128	0.342	0.067	0.022	0.072	0.164	0.243	0.108	0.074
0.340	0.104	0.175	0.279	0.261	0.377	0.333	0.249	0.392	0.212	0.322	0.255	0.237	0.254	0.311	0.390	0.341	0.220	0.311	0.320	0.282	0.290
0.265	0.062	0.019	0.226	0.153	0.090	0.095	0.135	0.410	0.188	0.323	0.092	0.074	0.134	0.141	0.246	0.022	0.061	0.174	0.152	0.081	0.147
0.288	0.106	0.152	0.136	0.161	0.197	0.135	0.097	0.171	0.190	0.140	0.117	0.120	0.151	0.113	0.196	0.126	0.077	0.156	0.188	0.139	0.140
0.046	0.028	0.106	0.050	0.050	0.104	0.108	0.041	0.105	0.144	0.090	0.048	0.086	0.070	0.120	0.141	0.195	0.037	0.080	0.112	0.037	0.080
0.087	0.035	0.039	0.038	0.056	0.065	0.049	0.051	0.095	0.076	0.040	0.036	0.054	0.050	0.080	0.050	0.032	0.063	0.058	0.096	0.080	0.053
1.328	0.534	0.490	0.301	0.677	0.791	0.534	0.486	1.076	0.906	0.562	0.445	0.863	0.448	0.886	0.339	0.394	0.622	0.763	0.876	1.007	0.689
0.116	0.008	0.062	0.030	0.043	0.049	0.068	0.110	0.027	0.064	0.028	0.021	0.047	0.031	0.100	0.010	0.046	0.046	0.047	0.099	0.026	0.043
0.702	0.279	0.337	0.358	0.462	0.551	0.473	0.378	0.672	0.499	0.531	0.333	0.451	0.428	0.463	0.479	0.303	0.364	0.442	0.515	0.366	0.448
0.946	0.343	0.355	0.492	0.602	0.998	0.726	0.459	0.518	0.533	0.927	0.424	0.552	0.601	0.544	0.522	0.530	0.424	0.581	0.543	0.562	0.544
38.009	18.754	16.242	14.958	26.508	25.269	23.973	19.352	33.846	34.347	20.961	13.530	22.829	17.801	25.876	20.828	23.947	26.630	26.855	25.964	21.798	23.388
0.321	0.078	0.149	0.149	0.179	0.309	0.158	0.096	0.273	0.235	0.201	0.124	0.249	0.142	0.196	0.191	0.167	0.251	0.199	0.290	0.266	0.191
0.027	0.018	0.012	0.017	0.031	0.021	0.016	0.011	0.028	0.033	0.014	0.014	0.016	0.016	0.024	0.011	0.011	0.017	0.023	0.031	0.024	0.017
0.337	0.125	0.128	0.109	0.165	0.110	0.133	0.105	0.181	0.272	0.177	0.090	0.111	0.091	0.295	0.095	0.088	0.163	0.179	0.247	0.307	0.126
0.101	0.057	0.046	0.036	0.046	0.043	0.038	0.055	0.076	0.059	0.033	0.030	0.057	0.036	0.069	0.054	0.026	0.088	0.044	0.050	0.052	0.046
0.035	0.010	0.027	0.016	0.022	0.024	0.019	0.017	0.029	0.042	0.024	0.021	0.017	0.014	0.019	0.025	0.023	0.028	0.028	0.032	0.039	0.023
0.183	0.052	0.126	0.080	0.208	0.147	0.059	0.145	0.088	0.211	0.118	0.075	0.119	0.110	0.143	0.079	0.076	0.024	0.247	0.121	0.096	0.088
0.116	0.095	0.058	0.048	0.055	0.108	0.090	0.051	0.117	0.086	0.066	0.057	0.059	0.263	0.089	0.053	0.055	0.049	0.129	0.143	0.098	0.075
0.027	0.013	0.010	0.010	0.015	0.014	0.015	0.016	0.017	0.151	0.008	0.010	0.017	0.015	0.020	0.010	0.011	0.017	0.013	0.013	0.011	0.013
0.444	0.244	0.924	0.686	1.010	0.789	0.602	1.489	0.763	0.820	1.221	0.615	1.248	0.586	0.814	0.922	0.848	0.448	0.696	0.675	0.776	0.802
0.016	0.006	0.004	0.008	0.012	0.005	0.006	0.004	0.006	0.007	0.009	0.004	0.004	0.057	0.006	0.004	0.006	0.008	0.004	0.005	0.008	0.006
0.010	0.006	0.013	0.004	0.006	0.008	0.005	0.006	0.008	0.006	0.004	0.004	0.013	0.011	0.006	0.004	0.003	0.007	0.004	0.017	0.005	0.006
0.045	0.009	0.018	0.039	0.019	0.025	0.066	0.025	0.018	0.350	0.012	0.039	0.026	0.029	0.038	0.010	0.016	0.024	0.090	0.024	0.051	0.024
0.004	0.001	0.002	0.001	0.002	0.003	0.003	0.001	0.001	0.005	0.001	0.001	0.002	0.001	0.003	0.001	0.000	0.016	0.001	0.001	0.001	0.001
0.104	0.089	0.035	0.164	0.052	0.043	0.045	0.043	0.073	0.039	0.243	0.032	0.066	0.078	0.054	0.102	0.032	0.072	0.118	0.046	0.039	0.053
0.068	0.036	0.033	0.062	0.051	0.050	0.067	0.047	0.046	0.100	0.312	0.035	0.118	0.034	0.034	0.031	0.022	0.088	0.074	0.045	0.025	0.050
8.263	0.299	0.894	0.433	0.648	0.737	1.293	0.803	0.741	0.837	0.462	0.324	1.482	0.521	0.507	0.470	0.402	0.358	0.645	0.700	0.753	0.684
12.774	1.000	1.374	1.154	1.751	1.833	2.348	1.627	11.537	1.883	1.233	1.330	2.964	1.203	1.785	1.653	0.982	7.632	1.786	1.684	1.618	1.718

Annexe 5

Charge spécifique moyenne par habitant [mg/hab/j] normalisée

Charge spécifique par habitant		Aigle	Aubonne	Avenches	Bercher II Foyrausaz	Bioley-Orjulaz	Bremblens	Bretigny-sur-Morrens	Bussigny	Château-d'Œx	Commugny	Echallens	Eclepens	Gland	La Sarraz	Lausanne
Médicaments – Analgésiques	Acetamidoantipyrine	72%	17%	82%	64%	21%	29%	29%	30%	93%	15%	47%	30%	19%	39%	72%
	Acide méfénamique	96%	48%	81%	87%	48%	70%	59%	61%	76%	51%	63%	47%	52%	43%	81%
	Diclofénac	2%	1%	3%	2%	2%	2%	2%	2%	3%	1%	2%	3%	2%	2%	2%
	Ibuprofène	97%	52%	77%	92%	62%	69%	47%	60%	52%	61%	62%	77%	61%	44%	93%
	Ketoprofen	30%	20%	41%	99%	23%	48%	14%	53%	23%	24%	25%	36%	23%	25%	44%
	Naproxène	91%	88%	91%	39%	46%	64%	51%	63%	100%	56%	82%	59%	63%	37%	100%
	Paracetamol	90%	36%	51%	51%	36%	45%	38%	50%	75%	23%	47%	54%	33%	48%	59%
Médicaments – Antibiotiques	Acetylsulfamethoxazole	74%	39%	49%	32%	47%	59%	38%	34%	54%	31%	49%	38%	33%	61%	65%
	Clarithromycine	38%	32%	36%	62%	18%	32%	19%	29%	52%	44%	21%	37%	36%	37%	57%
	Clindamycine	64%	42%	34%	35%	35%	27%	27%	30%	67%	40%	32%	53%	34%	17%	83%
	Sulfaméthazine	6%	7%	100%	10%	17%	11%	4%	5%	15%	7%	26%	19%	7%	6%	51%
	Sulfaméthoxazole	90%	47%	80%	36%	58%	71%	41%	40%	63%	57%	68%	57%	44%	89%	95%
	Sulfapyridine	23%	23%	90%	25%	49%	31%	19%	38%	32%	30%	25%	50%	30%	14%	43%
	Triméthoprim	72%	42%	60%	30%	46%	56%	32%	37%	62%	35%	53%	40%	35%	67%	84%
Médicaments – Autres	Amisulpride	17%	37%	7%	41%	39%	21%	6%	8%	80%	3%	56%	3%	28%	11%	73%
	Aténolol	49%	30%	52%	46%	41%	96%	41%	72%	82%	47%	57%	100%	37%	70%	55%
	Bézafibrate	38%	3%	41%	44%	17%	46%	64%	100%	47%	20%	26%	29%	18%	39%	41%
	Candésartan	39%	33%	81%	98%	60%	66%	35%	29%	90%	44%	68%	27%	40%	14%	57%
	Carbamazépine	22%	70%	35%	8%	77%	45%	21%	34%	86%	21%	43%	100%	21%	5%	36%
	Citalopram	60%	57%	82%	95%	48%	50%	37%	41%	68%	37%	41%	52%	41%	58%	68%
	Gabapentine	39%	37%	34%	100%	68%	7%	21%	4%	94%	18%	48%	91%	41%	22%	45%
	Gemfibrozile	49%	3%	1%	100%	13%	4%	1%	8%	47%	6%	11%	37%	8%	12%	14%
	Hydrochlorothiazide	74%	47%	73%	79%	45%	75%	43%	52%	69%	48%	58%	100%	48%	41%	72%
	Irbésartan	55%	62%	60%	54%	45%	85%	34%	52%	79%	63%	55%	44%	54%	34%	59%
	Metformine	93%	53%	70%	65%	40%	52%	41%	76%	72%	36%	56%	73%	48%	38%	74%
	Métoprolol	56%	54%	81%	82%	71%	60%	40%	46%	92%	39%	76%	71%	42%	53%	53%
	Mirtazapine	92%	61%	80%	55%	24%	45%	23%	40%	100%	27%	39%	35%	37%	53%	72%
	Pravastatine	51%	26%	73%	60%	31%	31%	17%	29%	52%	27%	40%	38%	28%	31%	36%
	Primidone	38%	82%	21%	32%	17%	24%	15%	27%	77%	29%	21%	43%	23%	100%	41%
	Propranolol	64%	37%	44%	62%	38%	72%	32%	56%	51%	38%	73%	65%	33%	50%	70%
	Sotalol	58%	28%	54%	11%	25%	47%	16%	26%	25%	22%	56%	30%	29%	12%	36%
	Venlafaxine	29%	25%	28%	35%	22%	31%	13%	39%	20%	19%	36%	31%	21%	24%	41%
Pesticides	Carbendazime	15%	8%	8%	10%	6%	8%	4%	7%	11%	8%	25%	65%	8%	5%	12%
	DEET	39%	42%	69%	100%	52%	79%	81%	43%	34%	57%	60%	73%	45%	54%	25%
	Diazinon	8%	7%	23%	71%	35%	36%	6%	6%	13%	18%	8%	59%	13%	4%	7%
	Diméthoate	4%	5%	4%	7%	17%	4%	3%	5%	9%	4%	4%	100%	4%	20%	6%
	Diuron	12%	3%	3%	4%	45%	4%	1%	3%	3%	14%	4%	100%	6%	1%	4%
	Isoproturon	3%	2%	1%	12%	1%	3%	1%	3%	1%	4%	29%	100%	1%	1%	4%
	MCPA	1%	0%	0%	6%	0%	3%	1%	0%	1%	1%	0%	100%	1%	2%	2%
	Mécoprop	7%	5%	5%	9%	5%	4%	2%	5%	10%	4%	3%	100%	4%	4%	14%
Produits anticorrosifs	4-et 5-méthylbenzotriazole	8%	13%	27%	8%	6%	14%	7%	22%	8%	10%	5%	99%	6%	11%	7%
	Benzotriazole	2%	3%	4%	2%	2%	4%	1%	4%	3%	1%	2%	100%	2%	1%	2%
Nombre de charge max		0	0	1	3	0	0	0	1	2	0	0	9	0	1	0

Valeurs
intermédiaires

Charge faible  Charge élevée

Le Chénit	Leysin	Lucens	Lutry	Montreux	Morges	Nyon	Ollon	Orbe	Payenne	Penthaz	Pully	Roche	Rolle	Sainte-Croix	Savigny Pra charbon	Servion	Vallorbe	Vevey	Yverdon-les-Bains	Yvonand
100%	47%	34%	27%	67%	35%	28%	25%	65%	52%	44%	26%	46%	16%	60%	29%	36%	24%	54%	78%	29%
78%	65%	60%	55%	67%	90%	79%	61%	78%	100%	79%	52%	71%	59%	61%	78%	81%	74%	79%	76%	46%
2%	1%	2%	2%	2%	3%	100%	2%	3%	3%	2%	2%	2%	1%	3%	2%	2%	2%	2%	3%	2%
77%	44%	51%	43%	60%	67%	79%	57%	99%	100%	66%	39%	61%	50%	55%	55%	59%	55%	70%	74%	74%
73%	16%	23%	27%	32%	39%	52%	21%	48%	42%	26%	30%	39%	21%	100%	28%	18%	35%	45%	38%	14%
63%	50%	51%	70%	66%	72%	79%	87%	90%	54%	67%	67%	68%	64%	46%	94%	95%	38%	73%	45%	40%
100%	39%	27%	38%	54%	49%	50%	26%	67%	73%	43%	30%	34%	25%	68%	47%	38%	56%	60%	61%	60%
100%	29%	24%	34%	63%	57%	46%	22%	71%	59%	51%	35%	32%	30%	43%	47%	57%	30%	70%	58%	79%
64%	47%	20%	23%	39%	43%	54%	41%	29%	100%	38%	21%	41%	32%	38%	32%	34%	33%	49%	35%	13%
100%	48%	20%	40%	56%	54%	36%	53%	46%	49%	22%	36%	49%	39%	84%	46%	35%	60%	47%	41%	45%
76%	8%	13%	6%	8%	8%	8%	9%	12%	8%	6%	5%	8%	7%	7%	13%	5%	9%	8%	9%	45%
95%	28%	50%	52%	67%	79%	83%	32%	91%	82%	73%	58%	55%	53%	46%	56%	100%	46%	77%	82%	99%
34%	27%	100%	19%	25%	41%	53%	29%	41%	43%	45%	36%	28%	41%	51%	18%	19%	43%	31%	24%	22%
100%	35%	25%	36%	70%	65%	52%	33%	69%	66%	54%	42%	44%	34%	38%	39%	64%	40%	74%	65%	73%
26%	41%	24%	22%	32%	16%	12%	4%	84%	9%	11%	21%	14%	37%	100%	19%	7%	21%	48%	71%	32%
60%	18%	31%	49%	46%	66%	59%	44%	69%	37%	57%	45%	42%	45%	55%	69%	60%	39%	55%	56%	50%
63%	15%	4%	54%	36%	21%	23%	32%	97%	45%	77%	22%	18%	32%	34%	59%	5%	15%	41%	36%	19%
100%	37%	53%	47%	56%	69%	47%	34%	60%	66%	49%	41%	42%	52%	39%	68%	44%	27%	54%	65%	48%
21%	13%	48%	23%	22%	47%	49%	18%	47%	65%	40%	22%	39%	31%	54%	63%	88%	17%	36%	50%	17%
91%	37%	41%	40%	58%	68%	51%	54%	99%	79%	42%	38%	56%	52%	84%	53%	33%	66%	61%	100%	84%
70%	28%	26%	16%	36%	42%	28%	26%	57%	48%	30%	24%	46%	24%	47%	18%	21%	33%	40%	46%	53%
36%	3%	19%	9%	13%	15%	21%	34%	8%	20%	9%	6%	15%	10%	31%	3%	14%	14%	15%	31%	8%
92%	37%	44%	47%	61%	72%	62%	50%	88%	65%	70%	44%	59%	56%	61%	63%	40%	48%	58%	68%	48%
95%	34%	36%	49%	60%	100%	73%	46%	52%	53%	93%	42%	55%	60%	55%	52%	53%	42%	58%	54%	56%
100%	49%	43%	39%	70%	66%	63%	51%	89%	90%	55%	36%	60%	47%	68%	55%	63%	70%	71%	68%	57%
100%	24%	46%	46%	56%	96%	49%	30%	85%	73%	62%	39%	78%	44%	61%	59%	52%	78%	62%	90%	83%
78%	52%	36%	49%	89%	62%	46%	32%	82%	95%	41%	41%	47%	46%	68%	31%	31%	50%	65%	90%	69%
100%	37%	38%	32%	49%	33%	40%	31%	54%	81%	53%	27%	33%	27%	88%	28%	26%	48%	53%	73%	91%
81%	46%	37%	29%	37%	35%	31%	45%	61%	48%	27%	24%	46%	29%	56%	43%	21%	71%	35%	41%	42%
83%	24%	64%	39%	52%	58%	45%	41%	70%	100%	57%	49%	41%	34%	46%	59%	56%	68%	67%	77%	93%
74%	21%	51%	33%	84%	60%	24%	59%	36%	85%	48%	30%	48%	44%	58%	32%	31%	10%	100%	49%	39%
44%	36%	22%	18%	21%	41%	34%	19%	45%	33%	25%	22%	22%	100%	34%	20%	21%	19%	49%	54%	37%
18%	9%	7%	7%	10%	9%	10%	11%	11%	100%	5%	7%	11%	10%	13%	7%	7%	11%	9%	9%	7%
27%	15%	56%	41%	61%	48%	36%	90%	46%	50%	74%	37%	75%	35%	49%	56%	51%	27%	42%	41%	47%
28%	10%	7%	15%	20%	8%	10%	8%	10%	12%	15%	7%	8%	100%	11%	6%	10%	15%	8%	10%	14%
10%	6%	14%	4%	6%	8%	5%	6%	8%	6%	4%	4%	14%	11%	6%	4%	3%	7%	5%	17%	5%
8%	2%	3%	7%	3%	4%	12%	4%	3%	62%	2%	7%	5%	5%	7%	2%	3%	4%	16%	4%	9%
7%	1%	3%	1%	3%	5%	4%	2%	2%	8%	1%	2%	3%	2%	6%	1%	1%	26%	2%	1%	1%
1%	1%	0%	2%	1%	1%	1%	1%	1%	0%	3%	0%	1%	1%	1%	1%	0%	1%	1%	1%	0%
6%	3%	3%	6%	5%	5%	6%	4%	4%	9%	30%	3%	11%	3%	3%	3%	2%	8%	7%	4%	2%
100%	4%	11%	5%	8%	9%	16%	10%	9%	10%	6%	4%	18%	6%	6%	6%	5%	4%	8%	8%	9%
15%	1%	2%	1%	2%	2%	3%	2%	14%	2%	1%	2%	4%	1%	2%	2%	1%	9%	2%	2%	2%
10	0	1	0	0	1	1	0	0	5	0	0	0	2	2	0	1	0	1	1	0

Annexe 6

Description détaillée des charges spécifiques et des tendances pour chaque micropolluant.

L'évolution de la charge au cours des dernières années (2014-2019) a été analysée pour chaque micropolluant, en tenant également compte des possibles variations saisonnières (données non présentées). La charge spécifique a ensuite été commentée sur la base des annexes 4 et 5.

Médicaments – Analgésiques

Acetamidoantipyrine

La charge en entrée est en augmentation dans la quasi-totalité des STEP. Quelques variations saisonnières, avec des valeurs élevées en période estivale, ont été observées.

Les charges spécifiques sont globalement similaires pour l'ensemble des STEP. Les STEP du Chenit, de Château-d'Oex et d'Avenches ont des charges spécifiques légèrement supérieures à la moyenne.

L'Acetamidoantipyrine est un **métabolite** du Paracétamol. Les tendances de ces deux micropolluants sont relativement similaires.

Acide méfénamique

Les charges en entrée sont en diminution dans l'intégralité des STEP du canton.

Il n'y a pas de différences significatives entre les STEP quant à la charge spécifique.

Diclofénac

La charge de Diclofénac est en augmentation globale en entrée de STEP. Des pics de charge sont observés en entrée de plusieurs STEP (Aubonne, Commugny, Gland, Vevey, Nyon et Rolle) en été. Le Diclofénac est un anti-inflammatoire non-stéroïdien (type Voltaren) qui n'a pas de raison d'être utilisé plus souvent en été qu'en hiver.

La charge spécifique par habitant est considérable pour la STEP de Nyon (valeur médiane de 26 mg/hab/j). Comme déjà mentionné, une industrie pharmaceutique fabriquant un médicament dont l'agent actif est le Diclofénac se situe dans le bassin versant de cette STEP. La charge a d'ailleurs considérablement diminué suite à la mise en service en 2019 d'un prétraitement par ozonation sur le site industriel. Il n'y a pas de différences significatives entre les autres STEP suivies.

Ibuprofène

Dans la plupart des STEP, les charges en entrée sont très variables mais ne semblent pas subir des influences saisonnières. Il n'y a pas de différence significative entre les STEP en terme de charge spécifique.

Kétoprofène

Les charges en Kétoprofène sont très variables quelle que soit la STEP.

Les charges spécifiques des différentes STEP sont comparables.

Naproxène

La charge en Naproxène est en augmentation pour les STEP de Bremblens, Bussigny, Eclépens et Ollon alors qu'elle diminue pour Gland, La Sarraz, Nyon et Vevey.

Pour les charges spécifiques par habitant, il y a peu de disparités entre les STEP.

Paracétamol

Une variation saisonnière (valeurs élevées en hiver / début printemps) est observée dans de nombreuses STEP (Aubonne, Commugny, Eclépens, Gland, La Sarraz, Nyon, Ollon, Pully, Roche, Rolle et Vevey).

Les charges spécifiques par habitant sont semblables d'une STEP à l'autre. Il s'agit du médicament le plus vendu en Suisse, ce qui explique les fortes concentrations mesurées en entrée de STEP.

Médicaments – Antibiotiques

Acetylsulfamethoxazole

Les charges et concentrations sont plutôt stables (pas d'augmentation ni de diminution) au cours du temps pour la majorité des STEP. Toutefois, la charge peut fortement varier d'un prélèvement à l'autre sans relation avec les saisons.

Il n'y a pas de différences majeures pour les charges spécifiques par habitant entre les STEP.

L'Acetylsulfamethoxazole est un **métabolite** du Sulfaméthoxazole. Ils ont des tendances semblables. Cependant, les concentrations spécifiques d'Acetylsulfamethoxazole sont généralement plus élevées que celles du Sulfaméthoxazole car sur 100 % de Sulfaméthoxazole consommé, ~30 % seront excrétés sans être transformés et 70 % seront excrétés sous forme d'Acetylsulfamethoxazole¹⁷.

¹⁷ <https://go.drugbank.com/drugs/DB01015>, consulté le 23.06.2020

Médicaments – Autres médicaments

Clarithromycine

Globalement, la charge est à la baisse, excepté pour la STEP d'Aubonne. Ce micropolluant est sujet à une forte variation saisonnière (fortes charges en hiver), ce qui s'observe notamment dans les STEP de Bremblens, Commugny, La Sarraz, Rolle, Montreux, Nyon, Ollon et Roche. La Clarithromycine étant un antibiotique utilisé pour soigner les angines, sinusites, bronchites et pneumonies, il est plus susceptible d'être utilisé durant l'hiver et les périodes de froid. L'augmentation de la charge durant l'hiver peut donc s'expliquer ainsi. Il n'y pas de STEP pour laquelle la charge spécifique soit significativement plus élevée ou plus faible.

Clindamycine

Les charges en Clindamycine sont globalement stables pour l'ensemble des STEP, sans augmentation ni diminution. Il n'y a pas de différence significative entre les STEP pour les charges spécifiques par habitant.

Sulfaméthazine

Globalement stables, les charges en entrée ont tendance à diminuer pour les STEP d'Aigle, La Sarraz, Montreux, Ollon et Roche. Les STEP ont une charge spécifique semblable. Cependant, les STEP d'Avenches, de Lausanne et du Chenit ont une charge spécifique un peu plus élevée.

Sulfaméthoxazole

Les charges de Sulfaméthoxazole qui arrivent dans les STEP sont très variables. Ces variations n'ont pas de lien avec la saison et semblent se produire sans motif de répétition précis. Les STEP ont une charge spécifique semblable.

Sulfapyridine

La tendance est à la baisse pour les STEP d'Aigle, Bremblens, Commugny, La Sarraz, Lutry, Nyon, Ollon, Pully et Vevey. Il y a des variations significatives pour les STEP de Gland, Montreux, Morges et Roche.

Les charges spécifiques sont globalement similaires excepté pour les STEP d'Avenches et Lucens, où elles sont significativement plus élevées.

Triméthoprim

La Triméthoprim est un antibiotique prescrit principalement pour le traitement des infections urinaires. Sa charge est en augmentation dans les STEP d'Aubonne, Bremblens, Lausanne et Lutry. Il y a de fortes variations non saisonnières à Eclépens, Gland, Leysin, Nyon, Pully et Roche.

Il y a une forte variation des charges spécifiques entre les différentes STEP, d'un facteur 4 à 5 entre les STEP les moins chargées à celles qui le sont le plus.

Amisulpride

Il s'agit d'un antidépresseur. La charge en entrée est en légère augmentation pour une partie des STEP et aucune diminution n'est observée. Pour les STEP de Bremblens, La Sarraz, Eclépens, Commugny, Ollon et Rolle, les concentrations et les charges sont ponctuellement très élevées. Ces pics apparaissent aléatoirement.

Les charges spécifiques sont particulièrement élevées pour les STEP de Sainte-Croix, Château-d'Oex, Lausanne et Orbe et basses pour Commugny, Eclépens et Ollon.

Aténolol

L'Aténolol est un bêta-bloquant, médicament prescrit dans le cas d'insuffisance cardiaque ou d'hypertension artérielle. La charge en entrée des STEP est en baisse dans l'ensemble des STEP. Les charges spécifiques sont globalement similaires pour toutes les STEP. Toutefois, elles sont légèrement plus élevées pour celles de Bremblens et Eclépens et plus faibles pour Leysin.

Bézafibrate

Le Bézafibrate est un hypolipémiant, médicament visant à réduire le taux de cholestérol dans le sang. La charge en entrée est en diminution dans de nombreuses STEP. Une forte variation est observée pour les STEP d'Ollon, Roche et Rolle.

Les STEP d'Aubonne, Lucens et Servion ont des charges spécifiques basses.

Candésartan

Ce médicament est un antihypertenseur.

Les charges sont globalement stables malgré quelques STEP où une augmentation est visible. Il y a des variations très importantes pour les STEP d'Eclépens et Gland.

Les charges spécifiques par habitant pour le Candésartan sont relativement stables.

Carbamazépine

Il n'y a pas de tendance générale pour ce micropolluant, qui est un anticonvulsif.

Malgré des pics de charge pour les STEP d'Aubonne, Bioley-Orjulaz, Château d'Oex, Eclépens et Servion, les charges spécifiques médianes par habitant sont semblables.

Citalopram

De manière générale, les charges de ce micropolluant en entrée de STEP diminuent. Pour la STEP d'Aubonne, une variation saisonnière est constatée (chargé en hiver / peu chargé en été). Les charges spécifiques par habitant sont globalement similaires.

Gabapentine

Il n'y a pas de tendance pour la Gabapentine, qui est un antiépileptique. Certaines STEP ont des charges en augmentation et d'autres en diminution (Aubonne, Gland, Nyon, Rolle, Vevey). Les charges spécifiques sont globalement stables. Toutefois, elles sont élevées pour les STEP d'Eclépens, Château-d'Oex et Bercher et faibles pour celles de Bussigny et Bremblens.

Gemfibrozile

Il s'agit d'un hypolipémiant.

Les charges diminuent pour les STEP d'Aigle, Commugny, Gland, Pully et Vevey. Dans les autres STEP, il y a une variation importante sans que celle-ci soit liée aux saisons.

Les charges spécifiques varient beaucoup pour ce micropolluant entre les différentes STEP. Aigle et Ollon en reçoivent particulièrement beaucoup. Il y a des différences d'un facteur de 10 à 20 entre les STEP les moins chargées (Aubonne, Bretigny, Leysin) et les plus chargées (Aigle, Bercher, Château-d'Oex). La charge reste toutefois faible pour cette substance, apparemment peu consommée.

Hydrochlorothiazide

Les charges en Hydrochlorothiazide (diurétique) sont en diminution dans quelques STEP mais restent globalement assez stables pour la majorité.

Les charges spécifiques par habitant pour l'Hydrochlorothiazide sont globalement semblables.

Irbésartan

Les charges en Irbésartan (antihypertenseur) sont en augmentation dans une bonne partie des STEP du canton.

Les charges spécifiques par habitant pour l'Irbésartan sont similaires d'une STEP à l'autre.

Metformine

Il s'agit d'un antidiabétique, également utilisé comme coupe-faim.

Les charges des STEP de Gland, La Sarraz et Rolle sont en légère augmentation tandis que celles d'Aigle et Roche diminuent. Le reste est stable.

Les charges spécifiques sont globalement les mêmes dans toutes les STEP. Elles sont particulièrement élevées par rapport aux autres substances (23.4 mg/hab.jour). Il s'agit du 3^{ème} médicament le plus vendu en Suisse. De plus, le corps humain rejette plus de 90% de la dose ingérée en moins de 24h sans aucune transformation (pas de **métabolite**). Ceci explique les concentrations et charges spécifiques très élevées.

Métoprolol

Il n'y a pas de tendance générale pour ce bêta-bloquant.

L'ensemble des STEP a la même charge spécifique par habitant, excepté celle de Leysin qui est plus faible.

Mirtazapine

La charge de cet antidépresseur en entrée augmente pour les STEP de Commugny et Leysin et diminue pour La Sarraz, Lutry et Nyon. Le reste est stable.

La charge spécifique par habitant est similaire dans toutes les STEP, même si les STEP de Bioley-Orjulaz, Bretigny-sur-Morrens et Commugny ont des valeurs de charges spécifiques plus faibles.

Pravastatine

Il s'agit d'un hypolipémiant.

Les charges en entrée ont tendance à diminuer dans la plupart des STEP (Aigle, Aubonne, Bremblens, Commugny, Gland, La Sarraz, Lutry, Montreux, Ollon, Penthaz, Roche et Vevey).

Les charges spécifiques sont semblables dans la plupart des STEP.

Primidone

Aucune tendance n'est à noter pour ce médicament utilisé pour le traitement de l'épilepsie et d'autres troubles neurologiques. Les charges spécifiques sont similaires dans la plupart des STEP.

Propranolol

La charge de ce bêta-bloquant en entrée diminue dans l'ensemble des STEP.

Les charges spécifiques moyennes sont semblables dans la plupart des STEP.

Sotalol

Il n'y a pas de tendance générale pour ce bêta-bloquant. La charge est en augmentation à Bremblens, Lutry, Montreux et Vevey et en diminution à Gland, La Sarraz et Nyon.

La charge spécifique est variable d'une STEP à l'autre. Certaines STEP ont des valeurs très faibles (Bercher, La Sarraz, Vallorbe) et d'autres, très élevées (Vevey, Montreux, Payerne).

Venlafaxine

Il n'y a pas de tendance générale pour la Venlafaxine, qui est un antidépresseur. Les charges dans certaines STEP sont en augmentation tandis que d'autres diminuent. Il n'y a pas de variation significative au cours du temps.

Les charges spécifiques sont toutes similaires, excepté celle de la STEP de Rolle qui est significativement plus élevée.

Pesticides

Carbendazime

Il n'y a pas de tendance particulière pour ce fongicide. Les charges sont très variables au cours du temps pour de nombreuses STEP sans motif saisonnier.

Les charges spécifiques sont comparables pour l'ensemble des STEP. Il faut toutefois relever que les STEP d'Eclépens et de Payerne ont des valeurs de 5 à 10x supérieures à la valeur médiane.

DEET

Une variation saisonnière très marquée pour cet insecticide est observée dans toutes les STEP. En été, les charges en entrée sont considérablement supérieures à celles mesurées en hiver (4 à 5x plus élevées). Ce résultat est cohérent puisque le DEET est largement utilisé en tant qu'anti-moustiques sur les surfaces agricoles et dans les ménages.

Les charges spécifiques sont similaires d'une STEP à l'autre. Celles des STEP en région agricole ont tendance à être légèrement supérieures.

Diazinon

Il n'y a pas de tendance générale qui se dégage pour cet insecticide. Les charges en entrée varient considérablement pour plusieurs STEP (Bussigny, Gland, Lausanne, Morges, Roche, Vevey).

Similaires pour la majorité des STEP, les charges spécifiques sont très supérieures dans les STEP de Rolle, Bercher et Eclépens.

Diméthoate

Les charges en Diméthoate (insecticide) sont globalement stables dans la plupart des STEP. Des pics en période estivale sont observés sans qu'ils ne soient significatifs ou ne suggèrent une charge accrue en été.

Les charges spécifiques sont semblables dans toutes les STEP sauf dans celle d'Eclépens qui observe des valeurs 20 à 30x supérieures aux autres.

Diuron

Les charges en Diuron, un herbicide, sont globalement stables. En revanche, la variation saisonnière est marquée car il est appliqué surtout durant la période printanière/estivale. En été, les STEP d'Aigle, Aubonne, Bremblens, Bussigny, Commugny, Lausanne, Lutry, Montreux, Morges, Ollon et Pully reçoivent des charges importantes de Diuron. Par ailleurs, la plupart des STEP ayant des fortes charges sont en région agricole ou viticole. La charge spécifique par habitant est particulièrement élevée pour les STEP d'Eclépens, Payerne et Bioley-Orjulaz.

Isoproturon

Les concentrations et charges de cet herbicide sont généralement très faibles ($< 0.01 \mu\text{g/L}$), excepté pour la STEP d'Eclépens. Toutefois, des pics sont observés entre avril et juin pour les STEP de La Sarraz, Lutry et Nyon. Comme le Diuron, cet herbicide est principalement utilisé en période printanière / estivale. De ce fait, ces pics sont probablement liés à cette activité accrue en début d'été.

Il y a une charge spécifique par habitant très élevée pour Eclépens par rapport aux autres STEP, lesquelles observent des valeurs comparables.

MCPA

Il s'agit également d'un herbicide. Les charges sont en légère augmentation pour les STEP de Morges, Nyon et Pully mais sont stables dans l'ensemble des autres STEP. La STEP d'Eclépens a une charge spécifique plus élevée que les autres STEP, lesquelles sont comparables.

Mécoprop

Dans de nombreuses STEP (Commugny, Eclépens, Leysin, Lutry, Morges, Nyon, Ollon, Rolle et Vevey), il y a une variation saisonnière marquée avec des pics durant l'été. Le Mécoprop étant un herbicide, ces pics s'expliquent de la même façon que ceux liés au Diuron et à l'Isoproturon. Mis à part ces fortes variations saisonnières, les charges ne sont ni en augmentation ni en diminution.

Excepté la STEP d'Eclépens qui a une charge spécifique médiane élevée, le reste des STEP a une charge spécifique semblable.

Produits anticorrosifs

4- et 5-méthylbenzotriazole

Pour une grande partie des STEP (Bussigny, Gland, La Sarraz, Lausanne, Lutry, Montreux, Morges, Pully, Roche, Vevey), la charge en entrée a tendance à diminuer depuis 2014. Pour les autres, les concentrations et charges sont plutôt stables. Aucune variation significative n'est observée (saisonnière ou autre). La charge spécifique par habitant est très élevée pour Eclépens et Le Chenit, mais elle est comparable dans les autres STEP.

Benzotriazole

Les charges sont stables ou en baisse dans l'ensemble des STEP. Des charges ponctuelles importantes arrivent dans les STEP de Roche, Pully, Aubonne et Eclépens. La charge spécifique en Benzotriazole est exceptionnellement élevée pour la STEP d'Eclépens et également élevée pour celles du Chenit et de Payerne. Elle est comparable dans les autres STEP.

Annexe 7

Concentration moyenne [µg/L] en sortie de STEP durant la période 2014-2019

Concentration en sortie [µg/L]		Aigle	Aubonne	Avenches	Bercher II Foyrausaz	Bioley-Orjulaz	Bremblens	Bretigny-sur-Morrens	Bussigny	Château-d'Œx	Commugny	Echallens	Eclépens	Gland	La Sarraz	Lausanne
Médicaments – Analgésiques	Acetamidoantipyrine	1.24	0.52	2.60	1.30	0.94	0.80	1.13	0.98	1.64	0.45	1.55	0.63	0.66	1.48	1.16
	Acide méfénamique	0.59	0.54	0.25	0.38	0.29	0.27	0.09	0.55	0.39	0.17	0.20	0.30	0.68	0.73	0.62
	Diclofénac	1.26	1.27	2.73	1.08	1.84	1.18	0.97	1.58	1.37	1.11	1.85	1.42	1.56	1.65	1.14
	Ibuprofène	0.63	0.57	0.08	0.18	0.08	0.32	0.05	1.01	0.40	0.24	0.14	0.71	1.76	0.09	1.79
	Ketoprofen	0.11	0.13	0.09	0.17	0.14	0.15	0.02	0.18	0.06	0.04	0.13	0.09	0.19	0.11	0.19
	Naproxène	0.93	1.39	0.26	0.33	0.37	0.25	0.15	1.08	0.65	0.16	0.42	0.49	1.53	0.43	1.15
	Paracetamol	0.10	0.14	0.09	0.08	0.08	0.10	0.08	1.02	0.08	0.07	0.21	1.42	0.17	0.07	0.12
Médicaments – Antibiotiques	Acetylsulfaméthoxazole	0.04	0.30	0.05	0.06	0.08	0.13	0.20	0.07	0.09	0.08	0.09	0.09	0.12	0.12	0.12
	Clarithromycine	0.11	0.21	0.11	0.19	0.15	0.29	0.23	0.23	0.22	0.31	0.22	0.16	0.26	0.26	0.22
	Clindamycine	0.04	0.05	0.07	0.03	0.05	0.03	0.03	0.05	0.03	0.07	0.05	0.03	0.06	0.02	0.05
	Sulfaméthazine	0.01	0.09	0.12	0.01	0.03	0.02	0.01	0.01	0.02	0.00	0.04	0.01	0.02	0.01	0.11
	Sulfaméthoxazole	0.25	0.23	0.25	0.08	0.25	0.14	0.15	0.38	0.19	0.22	0.37	0.25	0.36	0.55	0.38
	Sulfapyridine	0.05	0.20	0.23	0.02	0.15	0.07	0.06	0.21	0.04	0.08	0.11	0.04	0.11	0.05	0.07
	Triméthoprim	0.15	0.15	0.21	0.05	0.20	0.14	0.15	0.12	0.14	0.14	0.17	0.07	0.12	0.25	0.18
Médicaments – Autres	Amisulpride	0.13	0.46	0.10	0.37	0.63	0.25	0.19	0.11	0.52	0.05	0.67	0.02	0.41	0.20	0.50
	Aténolol	0.53	0.38	0.17	0.28	0.44	0.41	0.16	0.82	0.68	0.40	0.72	0.25	0.80	0.55	0.59
	Bézafibrate	0.17	0.02	0.11	0.14	0.08	0.08	0.05	0.62	0.25	0.06	0.17	0.12	0.30	0.18	0.23
	Candésartan	0.34	0.37	1.02	0.82	0.98	0.70	0.59	0.37	0.41	0.45	0.74	0.25	0.50	0.22	0.36
	Carbamazépine	0.13	0.44	0.42	0.09	0.81	0.35	0.48	0.28	0.44	0.21	0.42	0.58	0.23	0.08	0.19
	Citalopram	0.13	0.18	0.33	0.21	0.25	0.11	0.20	0.14	0.14	0.10	0.17	0.05	0.15	0.23	0.15
	Gabapentine	1.64	2.69	1.24	3.59	6.41	0.19	1.20	0.39	3.00	1.07	3.32	4.27	3.41	1.63	1.70
	Gemfibrozile	0.17	0.02	0.00	0.24	0.06	0.01	0.00	0.05	0.21	0.01	0.04	0.09	0.08	0.06	0.08
	Hydrochlorothiazide	1.33	1.35	2.43	1.64	1.84	1.84	1.73	1.63	1.09	1.14	1.71	1.96	1.51	1.51	1.19
	Irbésartan	1.46	2.24	2.35	1.49	2.27	2.61	1.36	2.08	1.80	1.97	1.87	1.17	2.24	1.82	1.19
	Metformine	28.15	18.60	4.43	8.14	11.58	5.47	5.88	14.34	19.47	2.57	6.21	13.25	41.56	7.74	34.16
	Métoprolol	0.39	0.63	0.76	0.59	0.72	0.27	0.41	0.56	0.50	0.41	0.82	0.33	0.57	0.52	0.38
	Mirtazapine	0.07	0.05	0.06	0.03	0.02	0.03	0.03	0.05	0.06	0.02	0.04	0.01	0.05	0.04	0.05
	Pravastatine	0.28	0.19	0.07	0.09	0.12	0.05	0.04	0.14	0.18	0.04	0.10	0.11	0.34	0.11	0.19
	Primidone	0.08	0.38	0.04	0.02	0.03	0.03	0.04	0.10	0.14	0.09	0.03	0.05	0.05	0.60	0.06
	Propranolol	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.06	0.06	0.04	0.06	0.11	0.03	0.06	0.08	0.07
	Sotalol	0.27	0.28	0.49	0.07	0.31	0.39	0.20	0.26	0.09	0.18	0.54	0.13	0.29	0.13	0.20
	Venlafaxine	0.18	0.24	0.36	0.25	0.27	0.23	0.22	0.26	0.10	0.18	0.34	0.13	0.24	0.29	0.24
Pesticides	Carbendazime	0.05	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.04	0.13	0.10	0.03	0.02	0.03
	DEET	0.54	0.40	0.25	0.25	0.21	0.36	0.72	1.15	0.42	0.11	0.17	1.01	0.98	0.48	0.69
	Diazinon	0.01	0.02	0.04	0.08	1.02	0.04	0.04	0.01	0.01	0.02	0.02	0.04	0.03	0.10	0.01
	Diméthoate	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.03	0.01	0.01	0.01
	Diuron	0.17	0.05	0.08	0.06	0.47	0.05	0.03	0.07	0.02	0.12	0.13	0.91	0.23	0.02	0.06
	Isoproturon	0.00	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.07	0.11	0.00	0.00	0.01
	MCPA	0.05	0.07	0.23	0.16	0.74	0.11	0.09	0.09	0.08	0.13	0.09	10.23	0.26	0.18	0.09
	Mécoprop	0.11	0.11	0.13	0.07	1.38	0.09	0.25	0.33	0.15	0.14	0.06	1.06	0.23	0.12	0.28
Produits anticorrosifs	4-et 5-méthylbenzotriazole	1.47	4.09	4.28	1.41	2.31	2.09	2.48	6.26	1.49	1.71	1.42	8.17	2.21	2.67	1.66
	Benzotriazole	3.41	7.51	6.15	2.50	3.80	4.16	2.22	13.92	3.77	2.51	4.58	88.68	6.46	3.23	4.34

Valeurs
intermédiaires

Concentration faible Concentration élevée

Le Chenit	Leysin	Lucens	Lutry	Montreux	Morges	Nyon	Ollon	Orbe	Payenne	Penthaz	Pully	Roche	Rolle	Sainte-Croix	Savigny Pra charbon	Servion	Valorbe	Vevey	Yverdon-les-Bains	Yvonand	Médiane
1.44	0.72	1.23	0.89	1.59	1.07	0.67	0.45	1.21	1.53	1.01	1.19	0.98	0.35	1.52	0.91	1.61	0.32	1.51	1.99	1.17	1.14
0.42	0.24	0.54	0.89	0.78	0.77	0.87	0.44	0.35	0.70	0.35	0.73	0.29	0.34	0.42	0.35	0.75	0.48	1.03	0.66	0.76	0.46
0.95	0.48	1.59	1.71	1.62	1.98	66.01	1.13	1.41	2.19	1.26	1.98	0.86	0.95	1.58	1.59	2.22	0.75	1.81	1.74	1.84	1.57
1.45	0.23	0.82	0.32	0.95	0.29	2.69	0.89	0.55	1.71	0.46	0.71	0.09	0.68	1.09	0.31	0.50	1.04	0.82	1.13	7.12	0.60
0.15	0.04	0.15	0.21	0.20	0.23	0.28	0.07	0.10	0.23	0.07	0.27	0.06	0.06	0.33	0.07	0.10	0.08	0.29	0.20	0.14	0.14
0.59	0.40	0.85	1.34	1.14	1.11	1.44	0.79	0.44	0.92	0.49	1.62	0.41	0.53	0.66	0.70	1.10	0.44	1.34	0.61	1.27	0.66
0.80	0.08	0.15	0.11	0.11	0.11	1.62	0.10	0.15	0.13	0.18	0.11	0.20	0.32	4.11	0.17	0.10	0.57	0.13	0.40	14.10	0.13
0.17	0.08	0.10	0.11	0.15	0.06	0.08	0.11	0.12	0.52	0.05	0.16	0.08	0.03	0.11	0.13	0.08	0.13	0.15	0.13	0.38	0.11
0.23	0.12	0.08	0.20	0.24	0.40	0.33	0.21	0.12	0.40	0.22	0.24	0.24	0.18	0.23	0.21	0.26	0.12	0.27	0.15	0.10	0.22
0.02	0.02	0.03	0.05	0.05	0.08	0.07	0.03	0.04	0.04	0.04	0.08	0.07	0.07	0.05	0.03	0.05	0.02	0.05	0.04	0.03	0.04
0.06	0.00	0.04	0.02	0.01	0.02	0.04	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.04	0.07	0.02
0.32	0.11	0.17	0.31	0.50	0.62	0.55	0.12	0.27	0.38	0.35	0.40	0.21	0.23	0.13	0.14	0.43	0.16	0.62	0.40	0.82	0.26
0.04	0.02	0.17	0.07	0.06	0.13	0.24	0.03	0.08	0.08	0.08	0.13	0.07	0.15	0.06	0.06	0.03	0.05	0.10	0.06	0.12	0.07
0.18	0.07	0.07	0.16	0.20	0.24	0.14	0.09	0.12	0.21	0.18	0.20	0.08	0.08	0.12	0.17	0.34	0.07	0.24	0.19	0.18	0.15
0.14	0.21	0.31	0.25	0.35	0.18	0.13	0.02	0.68	0.11	0.10	0.32	0.21	0.35	1.01	0.27	0.12	0.13	0.59	0.66	0.40	0.25
0.40	0.07	0.42	0.82	0.70	0.99	0.75	0.35	0.52	0.58	0.58	0.72	0.22	0.42	0.33	0.32	0.73	0.29	0.76	0.63	0.84	0.52
0.32	0.03	0.05	0.53	0.34	0.18	0.26	0.16	0.22	0.52	0.38	0.25	0.08	0.18	0.20	0.22	0.05	0.07	0.45	0.35	0.21	0.18
0.47	0.20	0.59	0.56	0.51	0.62	0.40	0.27	0.40	0.64	0.51	0.61	0.51	0.40	0.36	0.70	0.53	0.15	0.58	0.57	0.66	0.51
0.09	0.07	0.39	0.19	0.12	0.32	0.31	0.11	0.30	0.46	0.34	0.14	0.39	0.22	0.39	0.59	1.33	0.08	0.24	0.39	0.15	0.30
0.13	0.05	0.15	0.15	0.15	0.24	0.08	0.09	0.20	0.24	0.15	0.20	0.11	0.08	0.28	0.20	0.16	0.10	0.19	0.24	0.22	0.15
2.08	0.73	1.87	1.18	1.79	2.78	1.50	1.14	1.84	3.15	1.81	2.28	2.44	1.09	2.81	1.21	1.91	1.03	2.38	2.72	3.16	1.86
0.14	0.00	0.20	0.06	0.07	0.07	0.13	0.14	0.02	0.17	0.02	0.07	0.03	0.02	0.20	0.01	0.13	0.10	0.10	0.23	0.07	0.07
1.10	0.54	1.28	1.42	1.32	1.85	1.30	0.88	1.43	1.54	1.58	1.67	1.24	1.11	1.46	1.69	1.52	0.66	1.50	1.42	1.78	1.48
1.45	0.61	1.33	1.84	1.89	3.03	1.95	1.15	1.07	1.76	3.08	2.03	1.48	1.54	1.68	2.07	2.06	0.77	2.07	1.58	2.26	1.83
34.65	9.02	20.64	30.19	66.25	38.97	44.63	19.60	5.90	65.30	14.74	22.04	7.40	8.34	31.11	21.41	11.34	31.46	45.20	36.83	52.82	19.53
0.50	0.07	0.47	0.59	0.53	0.87	0.42	0.20	0.56	0.74	0.58	0.54	0.68	0.38	0.51	0.45	0.75	0.42	0.65	0.84	0.96	0.54
0.03	0.02	0.04	0.06	0.07	0.07	0.04	0.02	0.05	0.08	0.03	0.06	0.04	0.04	0.06	0.02	0.04	0.02	0.07	0.08	0.08	0.04
0.39	0.07	0.32	0.29	0.44	0.33	0.37	0.11	0.09	0.74	0.25	0.24	0.05	0.07	0.24	0.07	0.11	0.22	0.50	0.61	1.08	0.19
0.12	0.04	0.12	0.09	0.07	0.11	0.10	0.05	0.14	0.20	0.06	0.07	0.12	0.05	0.11	0.20	0.03	0.10	0.10	0.13	0.20	0.09
0.05	0.02	0.05	0.06	0.06	0.07	0.04	0.04	0.06	0.13	0.07	0.10	0.05	0.03	0.06	0.09	0.13	0.04	0.09	0.08	0.11	0.06
0.28	0.08	0.51	0.32	0.53	0.50	0.16	0.25	0.17	0.68	0.39	0.34	0.33	0.30	0.43	0.33	0.39	0.03	0.75	0.36	0.37	0.30
0.16	0.08	0.21	0.19	0.16	0.35	0.22	0.11	0.27	0.27	0.21	0.27	0.17	0.16	0.28	0.21	0.28	0.08	0.25	0.37	0.37	0.24
0.02	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.06	0.02	0.01	0.28	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.01	0.03	0.03	0.04	0.03
0.50	0.25	0.65	0.55	1.30	0.86	1.10	1.45	0.38	1.14	0.98	0.78	0.26	0.43	0.74	0.48	0.53	0.64	0.98	0.77	3.18	0.60
0.00	0.00	0.01	0.04	0.03	0.02	0.03	0.01	0.01	0.02	0.10	0.02	0.01	0.08	0.01	0.01	0.04	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02
0.01	0.00	0.03	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.01	0.01
0.04	0.01	0.08	0.09	0.05	0.05	0.17	0.04	0.05	0.48	0.03	0.11	0.07	0.12	0.08	0.04	0.06	0.03	0.20	0.07	0.12	0.07
0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
0.06	0.05	0.04	1.06	0.07	0.06	0.11	0.04	0.06	0.05	2.08	0.05	0.06	0.12	0.05	0.13	0.07	0.06	0.23	0.07	0.08	0.09
0.05	0.06	0.09	0.21	0.10	0.10	0.17	0.07	0.08	0.16	0.70	0.09	0.10	0.04	0.07	0.05	0.13	0.11	0.21	0.15	0.09	0.11
10.44	0.58	2.56	1.74	1.53	2.71	3.52	1.32	1.82	2.23	1.82	1.47	2.07	1.17	1.32	1.52	1.32	0.58	1.80	2.11	2.90	1.82
12.94	1.74	3.62	3.88	4.32	5.27	6.59	2.79	24.24	5.08	3.61	4.29	5.30	2.74	3.84	3.53	3.35	8.41	4.84	4.00	5.72	4.22

Annexe 8

Charge moyenne en sortie de STEP [g/j] durant la période 2014-2019

Charge en sortie [g/j]		Aigle	Aubonne	Avenches	Bercher II Foyrausaz	Bioley-Orjulaz	Bremblens	Bretigny-sur-Morrens	Bussigny	Château-d'Œx	Commugny	Echallens	Eclepins	Gland	La Sarraz	Lausanne	Le Chénit
Médicaments – Analgésiques	Acetamidoantipyrine	4.09	0.68	2.98	0.92	0.54	1.07	0.98	2.13	2.17	2.58	2.93	0.26	5.14	0.99	105.03	3.23
	Acide méfénamique	2.11	0.72	0.29	0.29	0.20	0.39	0.08	1.26	0.60	1.02	0.41	0.12	5.26	0.56	56.45	1.13
	Diclofénac	4.28	1.70	3.14	0.77	1.11	1.61	0.86	3.58	2.22	6.93	3.67	0.58	12.08	1.13	104.82	2.25
	Ibuprofène	2.26	0.90	0.09	0.16	0.06	0.47	0.04	2.40	0.83	1.29	0.30	0.34	16.90	0.07	166.69	4.05
	Ketoprofen	0.38	0.17	0.10	0.14	0.09	0.20	0.02	0.41	0.08	0.33	0.26	0.04	1.43	0.08	17.72	0.37
	Naproxène	3.22	1.93	0.30	0.26	0.25	0.34	0.13	2.51	1.05	1.04	0.96	0.20	11.92	0.31	105.22	1.47
	Paracetamol	0.35	0.20	0.10	0.06	0.05	0.14	0.07	2.23	0.13	0.44	0.38	0.70	1.31	0.05	11.28	1.88
Médicaments – Antibiotiques	Acetylsulfamethoxazole	0.15	0.42	0.05	0.04	0.05	0.19	0.12	0.16	0.12	0.55	0.18	0.05	0.97	0.09	11.07	0.57
	Clarithromycine	0.38	0.28	0.13	0.17	0.09	0.36	0.18	0.52	0.35	2.02	0.41	0.07	2.29	0.19	20.61	0.63
	Clindamycine	0.14	0.07	0.08	0.02	0.03	0.04	0.03	0.12	0.05	0.41	0.10	0.01	0.50	0.02	4.41	0.06
	Sulfaméthazine	0.04	0.10	0.13	0.01	0.02	0.04	0.01	0.03	0.02	0.03	0.08	0.01	0.13	0.01	9.90	0.17
	Sulfaméthoxazole	0.89	0.29	0.28	0.05	0.15	0.17	0.12	0.86	0.29	1.24	0.69	0.11	2.89	0.39	34.57	0.77
	Sulfapyridine	0.17	0.25	0.26	0.02	0.09	0.13	0.04	0.53	0.06	0.45	0.20	0.01	0.82	0.03	6.84	0.13
	Triméthoprim	0.50	0.21	0.24	0.04	0.12	0.20	0.11	0.28	0.19	0.85	0.32	0.03	0.98	0.18	16.56	0.42
Médicaments – Autres	Amisulpride	0.40	0.61	0.12	0.23	0.40	0.33	0.14	0.24	0.68	0.29	1.30	0.01	3.14	0.11	44.98	0.33
	Aténolol	1.83	0.51	0.20	0.20	0.26	0.52	0.11	1.88	1.00	2.47	1.37	0.10	6.20	0.38	53.30	1.03
	Bézafibrate	0.65	0.03	0.13	0.11	0.05	0.12	0.06	1.44	0.36	0.46	0.34	0.05	2.28	0.13	20.93	0.80
	Candésartan	1.06	0.48	1.13	0.54	0.57	0.92	0.45	0.84	0.51	2.77	1.44	0.10	3.84	0.14	32.83	1.04
	Carbamazépine	0.44	0.58	0.47	0.05	0.47	0.44	0.36	0.62	0.57	1.25	0.79	0.24	1.77	0.05	17.52	0.20
	Citalopram	0.39	0.25	0.37	0.15	0.14	0.16	0.16	0.31	0.18	0.67	0.32	0.02	1.20	0.15	14.12	0.31
	Gabapentine	5.59	3.61	1.44	2.56	3.73	0.27	0.89	0.87	4.39	6.25	6.39	1.75	25.80	1.09	154.96	4.86
	Gemfibrozile	0.63	0.03	0.00	0.19	0.04	0.01	0.00	0.11	0.28	0.04	0.08	0.04	0.61	0.04	7.59	0.36
	Hydrochlorothiazide	4.21	1.81	2.70	1.13	1.07	2.45	1.33	3.70	1.39	7.18	3.25	0.79	12.01	0.98	108.36	2.52
	Irbésartan	4.59	2.94	2.62	0.99	1.32	3.44	1.10	4.58	2.33	12.35	3.69	0.47	17.57	1.13	109.80	3.28
	Metformine	97.42	28.67	5.06	6.60	7.66	8.28	4.41	32.84	33.98	17.22	12.21	5.75	349.64	5.60	3187.04	95.48
	Métoprolol	1.30	0.83	0.87	0.42	0.42	0.36	0.32	1.25	0.69	2.45	1.57	0.13	4.41	0.35	34.61	1.20
	Mirtazapine	0.23	0.07	0.07	0.02	0.01	0.04	0.02	0.11	0.09	0.14	0.08	0.01	0.35	0.03	4.58	0.08
	Pravastatine	0.99	0.25	0.08	0.07	0.08	0.07	0.03	0.32	0.27	0.32	0.21	0.05	2.65	0.08	17.97	0.96
	Primidone	0.28	0.49	0.04	0.02	0.02	0.03	0.03	0.22	0.19	0.53	0.06	0.02	0.40	0.40	5.42	0.29
	Propranolol	0.24	0.08	0.07	0.04	0.04	0.09	0.05	0.14	0.06	0.35	0.21	0.01	0.44	0.06	6.37	0.14
	Sotalol	0.90	0.36	0.56	0.05	0.19	0.51	0.15	0.59	0.14	1.12	1.01	0.05	2.24	0.09	17.81	0.65
	Venlafaxine	0.62	0.32	0.40	0.17	0.16	0.29	0.18	0.58	0.14	1.09	0.64	0.05	1.90	0.19	22.08	0.39
Pesticides	Carbendazime	0.17	0.04	0.03	0.01	0.02	0.03	0.02	0.07	0.02	0.22	0.25	0.04	0.28	0.01	2.69	0.07
	DEET	1.88	0.52	0.30	0.20	0.13	0.54	0.64	2.38	0.68	0.77	0.40	0.38	7.49	0.34	63.41	1.17
	Diazinon	0.02	0.02	0.05	0.05	0.57	0.05	0.03	0.02	0.01	0.10	0.03	0.02	0.19	0.06	0.65	0.01
	Diméthoate	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.04	0.01	0.01	0.05	0.01	0.53	0.02
	Diuron	0.60	0.07	0.09	0.05	0.25	0.07	0.02	0.13	0.03	0.69	0.22	0.36	1.58	0.01	5.69	0.12
	Isoproturon	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.06	0.14	0.04	0.01	0.00	0.60	0.01
	MCPA	0.16	0.09	0.29	0.11	0.42	0.13	0.07	0.19	0.13	0.71	0.15	3.36	1.90	0.11	8.10	0.14
	Mécoprop	0.36	0.20	0.16	0.05	0.69	0.12	0.26	0.63	0.21	0.79	0.13	0.43	1.65	0.08	38.59	0.16
Produits anticorrosifs	4-et 5-méthylbenzotriazole	5.34	5.60	5.08	1.02	1.39	2.78	1.97	14.43	2.14	10.49	2.79	3.70	17.10	1.86	152.16	22.73
	Benzotriazole	12.00	9.93	7.01	1.81	2.35	5.57	1.88	30.97	5.43	16.05	8.94	35.81	50.36	2.23	394.60	29.84

Valeurs
intermédiaires

Charge faible  Charge élevée

Leysin	Lucens	Lutry	Montreux	Morges	Nyon	Ollon	Orbe	Payenne	Penthaz	Pully	Roche	Rolle	Sainte-Croix	Savigny Pra charbon	Servion	Valorbe	Vevey	Yverdon-les-Bains	Yvonand	Somme
1.15	5.06	2.37	20.56	10.49	5.23	1.44	4.68	5.09	2.41	5.98	3.26	1.22	2.15	0.73	0.64	0.66	22.90	20.68	0.88	253.32
0.41	2.34	2.36	10.36	7.58	6.69	1.65	1.47	2.44	0.86	3.95	1.05	1.23	0.66	0.30	0.36	0.96	16.10	7.11	0.61	139.40
0.79	6.58	4.61	21.18	19.49	532.65	3.72	5.51	7.72	3.07	10.44	3.03	3.44	2.23	1.34	0.93	1.51	27.64	18.30	1.48	826.40
0.43	3.90	0.87	12.63	2.87	21.32	3.59	2.28	6.04	1.10	3.93	0.31	2.67	2.03	0.38	0.26	2.21	13.37	13.07	5.55	295.66
0.07	0.62	0.58	2.60	2.25	2.22	0.24	0.40	0.80	0.18	1.41	0.21	0.24	0.48	0.06	0.04	0.17	4.49	2.08	0.10	41.06
0.66	3.71	3.65	14.98	10.93	11.37	2.69	1.79	3.18	1.21	8.65	1.44	2.04	0.96	0.70	0.49	0.86	20.80	6.45	0.98	228.66
0.14	0.62	0.29	1.45	1.14	14.51	0.45	0.61	0.47	0.45	0.64	0.65	1.16	6.71	0.14	0.05	1.83	2.07	4.02	10.01	66.75
0.13	0.44	0.33	2.06	0.63	0.65	0.37	0.49	1.84	0.13	0.93	0.32	0.10	0.21	0.12	0.04	0.26	2.60	1.37	0.31	28.09
0.21	0.34	0.50	3.17	4.16	2.66	0.71	0.46	1.36	0.56	1.28	0.82	0.69	0.37	0.18	0.12	0.24	4.30	1.68	0.09	52.59
0.03	0.14	0.14	0.75	0.84	0.55	0.10	0.16	0.16	0.10	0.44	0.22	0.25	0.07	0.03	0.02	0.03	0.71	0.44	0.02	11.27
0.01	0.17	0.06	0.09	0.19	0.32	0.03	0.06	0.04	0.04	0.10	0.02	0.03	0.01	0.02	0.00	0.02	0.28	0.38	0.05	12.63
0.18	0.71	0.84	6.51	6.10	4.21	0.38	1.05	1.26	0.85	2.13	0.75	0.79	0.25	0.11	0.18	0.30	9.50	4.32	0.66	84.86
0.04	0.66	0.20	0.72	1.32	1.82	0.13	0.34	0.30	0.20	0.72	0.23	0.48	0.09	0.05	0.02	0.10	1.53	0.61	0.10	19.68
0.12	0.29	0.43	2.65	2.40	1.11	0.29	0.48	0.69	0.45	1.07	0.27	0.29	0.18	0.14	0.15	0.14	3.76	2.03	0.15	38.31
0.36	1.29	0.68	4.41	1.71	1.06	0.06	2.63	0.37	0.24	1.60	0.68	1.27	1.39	0.20	0.04	0.25	8.57	6.83	0.36	87.31
0.12	1.79	2.27	9.21	9.86	5.98	1.25	2.06	2.08	1.38	3.90	0.76	1.54	0.57	0.31	0.35	0.60	11.86	6.73	0.68	134.68
0.06	0.22	1.47	4.47	1.76	2.05	0.59	0.87	1.88	0.94	1.37	0.30	0.66	0.32	0.21	0.03	0.15	7.07	3.67	0.17	56.21
0.33	2.41	1.49	6.47	6.18	3.20	0.81	1.53	2.14	1.28	3.19	1.71	1.37	0.48	0.54	0.23	0.29	8.54	5.81	0.49	97.19
0.11	1.62	0.53	1.58	3.11	2.44	0.35	1.16	1.62	0.80	0.71	1.33	0.78	0.53	0.49	0.62	0.14	3.57	4.19	0.13	51.64
0.09	0.60	0.41	1.98	2.36	0.70	0.27	0.78	0.81	0.39	1.08	0.38	0.31	0.37	0.16	0.07	0.20	2.82	2.50	0.18	35.32
1.17	7.73	3.21	23.32	27.27	11.66	3.66	7.11	10.97	4.29	11.84	8.11	3.74	3.91	1.02	0.79	2.04	36.57	28.33	2.26	423.47
0.01	0.84	0.16	0.96	0.63	1.05	0.50	0.08	0.59	0.06	0.36	0.09	0.09	0.31	0.00	0.06	0.19	1.66	2.50	0.07	20.27
0.90	5.28	3.78	16.87	18.42	10.55	2.68	5.56	5.06	4.04	8.81	4.12	3.91	2.01	1.33	0.67	1.27	22.33	14.58	1.34	288.40
1.02	5.52	4.87	24.05	30.47	15.79	3.44	4.11	5.78	7.54	10.57	4.82	5.36	2.28	1.58	0.91	1.46	30.31	16.13	1.73	349.95
16.07	92.02	82.62	868.31	417.64	361.65	74.11	23.20	237.15	35.23	122.14	25.67	31.65	52.98	21.95	6.79	63.40	722.02	410.35	42.08	7604.89
0.12	1.96	1.60	6.92	8.46	3.39	0.67	2.19	2.57	1.41	2.84	2.31	1.36	0.70	0.36	0.34	0.82	9.89	8.79	0.76	108.67
0.04	0.15	0.15	0.84	0.68	0.32	0.06	0.18	0.27	0.08	0.31	0.12	0.13	0.09	0.02	0.02	0.05	1.08	0.82	0.07	11.39
0.12	1.35	0.81	5.82	3.23	2.86	0.41	0.37	2.67	0.58	1.31	0.16	0.26	0.43	0.06	0.05	0.45	7.79	6.46	0.83	60.44
0.07	0.49	0.25	1.00	1.10	0.75	0.17	0.52	0.67	0.14	0.39	0.40	0.18	0.17	0.16	0.01	0.20	1.57	1.40	0.18	18.26
0.03	0.21	0.16	0.83	0.66	0.32	0.12	0.24	0.47	0.16	0.53	0.16	0.13	0.09	0.07	0.06	0.09	1.41	0.89	0.09	15.09
0.12	2.13	0.84	6.93	4.90	1.26	0.82	0.65	2.44	0.94	1.79	1.09	1.09	0.60	0.27	0.16	0.07	11.43	3.74	0.29	67.96
0.13	0.87	0.51	2.13	3.49	1.77	0.39	1.06	0.95	0.51	1.41	0.59	0.58	0.38	0.17	0.12	0.16	3.81	3.89	0.30	52.44
0.02	0.10	0.05	0.38	0.27	0.45	0.07	0.06	1.13	0.06	0.14	0.10	0.12	0.04	0.02	0.01	0.02	0.48	0.40	0.03	7.93
0.40	2.81	1.60	17.08	8.83	8.31	4.81	1.54	4.18	2.31	4.21	0.93	1.48	1.80	0.48	0.29	1.23	15.32	8.90	2.18	169.91
0.01	0.05	0.11	0.40	0.21	0.20	0.03	0.03	0.07	0.21	0.11	0.02	0.40	0.02	0.01	0.02	0.03	0.20	0.15	0.02	4.16
0.00	0.15	0.02	0.07	0.22	0.08	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.05	0.04	0.01	0.00	0.00	0.01	0.12	0.28	0.01	1.90
0.01	0.35	0.22	0.71	0.48	1.37	0.14	0.23	1.86	0.07	0.64	0.26	0.49	0.14	0.04	0.03	0.06	4.66	0.66	0.14	22.54
0.00	0.02	0.00	0.04	0.06	0.05	0.00	0.01	0.04	0.05	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.04	0.06	0.02	0.00	1.42
0.09	0.17	2.51	1.01	0.60	0.83	0.12	0.24	0.17	5.30	0.25	0.22	0.45	0.08	0.17	0.03	0.13	4.24	0.71	0.06	33.44
0.10	0.38	0.53	1.40	1.02	1.34	0.23	0.29	0.57	1.77	0.56	0.34	0.16	0.10	0.05	0.05	0.22	3.32	1.90	0.08	58.90
0.97	11.39	4.71	20.18	26.42	27.25	4.81	7.01	8.05	4.29	7.67	7.60	4.34	2.21	1.34	0.68	1.20	28.07	22.41	2.17	443.34
2.88	15.22	10.62	56.67	51.63	50.82	9.86	94.41	17.94	8.86	22.79	18.95	9.98	5.83	3.25	1.62	17.00	74.93	43.22	4.64	1135.89

Annexe 9

Abattement moyen pour chaque STEP et chaque micropolluant

Abattement		Aigle	Aubonne	Avenches	Bercher II Foyrausaz	Bioley-Orjulaz	Bremblens	Breigny-sur-Morrens	Bussigny	Château-d'Œx	Commugny	Echallens	Eclépens	Gland	La Sarraz	Lausanne	Le Chenit
Médicaments – Analgésiques	Acetamidoantipyrine	29.3%	8.1%	15.5%	15.3%	14.0%	13.7%	18.0%	14.4%	7.9%	11.3%	8.8%	10.9%	6.9%	18.0%	12.3%	11.2%
	Acide méfénamique	44.1%	27.8%	80.9%	50.3%	71.6%	77.3%	87.5%	46.2%	36.0%	76.4%	79.5%	43.2%	26.5%	58.6%	16.6%	19.4%
	Diclofénac	22.6%	7.6%	22.1%	21.5%	19.9%	40.8%	48.9%	20.8%	8.7%	18.1%	12.5%	22.8%	9.7%	31.1%	9.7%	11.5%
	Ibuprofène	94.2%	89.7%	99.4%	94.0%	99.3%	97.2%	99.4%	82.5%	84.0%	97.7%	98.4%	90.4%	80.2%	99.1%	63.7%	65.2%
	Ketoprofen	44.0%	26.9%	75.8%	59.1%	46.8%	74.6%	79.8%	48.7%	38.4%	75.1%	44.4%	44.9%	24.5%	63.6%	21.4%	40.7%
	Naproxène	56.5%	45.1%	92.0%	58.2%	79.4%	86.5%	90.2%	47.1%	47.0%	87.9%	79.2%	60.9%	30.0%	72.2%	27.8%	27.2%
	Paracetamol	99.5%	96.9%	99.9%	96.1%	99.9%	99.9%	99.9%	90.5%	98.8%	99.9%	99.8%	97.7%	99.8%	100.0%	86.5%	92.2%
Médicaments – Antibiotiques	Acetylsulfamethoxazole	94.8%	56.2%	92.6%	79.8%	91.5%	90.0%	78.0%	79.1%	81.8%	84.3%	90.9%	75.5%	82.6%	92.7%	68.4%	69.6%
	Clarithromycine	43.0%	27.2%	64.1%	37.5%	34.5%	19.7%	21.7%	25.7%	19.8%	19.1%	15.0%	31.9%	27.4%	37.4%	22.9%	19.7%
	Clindamycine	5.8%	3.5%	3.1%	9.2%	13.2%	12.9%	23.1%	2.8%	9.4%	1.4%	5.4%	34.5%	0.0%	13.2%	7.0%	26.8%
	Sulfaméthazine	46.3%	23.3%	64.8%	63.4%	68.5%	72.6%	73.6%	46.3%	53.7%	81.2%	47.7%	70.9%	46.9%	75.1%	41.1%	41.8%
	Sulfaméthoxazole	51.8%	42.7%	67.8%	57.2%	55.9%	75.9%	67.1%	18.8%	28.7%	49.3%	44.1%	27.3%	22.7%	51.6%	18.4%	19.5%
	Sulfapyridine	44.9%	21.0%	54.1%	62.5%	50.7%	61.4%	60.4%	16.3%	53.5%	39.1%	30.9%	72.1%	30.0%	49.9%	23.9%	39.4%
	Triméthoprine	31.3%	15.3%	20.9%	39.4%	15.6%	48.4%	40.5%	31.3%	8.5%	8.6%	30.9%	37.0%	25.1%	36.5%	15.7%	14.0%
Médicaments – Autres	Amisulpride	23.5%	6.9%	13.9%	24.9%	18.5%	19.4%	3.1%	24.6%	21.4%	19.5%	19.2%	65.9%	8.0%	29.7%	10.1%	13.5%
	Aténolol	27.7%	38.1%	84.3%	58.6%	65.0%	79.5%	85.1%	47.7%	18.4%	53.9%	41.4%	82.4%	13.6%	74.6%	18.6%	22.9%
	Bézafibrate	51.2%	55.4%	84.6%	61.3%	61.8%	88.8%	87.9%	39.8%	35.4%	75.2%	53.3%	57.6%	9.8%	80.5%	30.1%	23.7%
	Candésartan	9.7%	2.6%	8.0%	10.6%	10.5%	6.0%	12.7%	6.0%	10.9%	7.4%	7.6%	9.7%	5.8%	13.2%	7.9%	10.4%
	Carbamazépine	8.8%	13.0%	0.9%	16.1%	18.3%	11.8%	2.2%	7.9%	6.6%	2.3%	4.2%	9.8%	3.8%	10.0%	7.1%	5.3%
	Citalopram	20.5%	8.5%	9.6%	16.3%	12.6%	37.1%	19.7%	24.6%	6.7%	7.3%	9.5%	54.0%	9.3%	27.9%	8.9%	13.0%
	Gabapentine	20.8%	6.0%	51.2%	29.1%	17.0%	68.1%	47.1%	18.9%	15.2%	16.4%	12.3%	18.7%	7.1%	25.3%	11.0%	13.7%
	Gemfibrozile	49.4%	53.0%	82.0%	61.2%	62.8%	80.3%	77.4%	52.8%	34.1%	85.7%	63.3%	61.9%	27.3%	72.0%	22.6%	21.3%
	Hydrochlorothiazide	22.6%	2.9%	4.7%	17.0%	13.9%	13.3%	17.9%	11.5%	10.7%	14.8%	9.3%	6.9%	9.6%	15.5%	10.1%	13.8%
	Irbésartan	13.1%	6.2%	11.4%	14.0%	19.0%	19.3%	32.4%	12.4%	5.9%	17.1%	17.1%	12.3%	7.6%	15.6%	13.6%	13.2%
	Metformine	70.4%	70.4%	95.9%	82.2%	85.6%	92.4%	93.1%	77.7%	50.2%	94.2%	92.6%	79.2%	42.2%	89.6%	33.6%	37.2%
	Métoprolol	23.5%	8.4%	29.0%	23.6%	43.8%	63.6%	45.3%	15.7%	12.4%	14.1%	16.4%	42.3%	7.2%	44.3%	9.9%	12.1%
	Mirtazapine	26.7%	28.8%	31.9%	32.8%	44.3%	49.3%	46.6%	19.6%	12.5%	31.6%	21.6%	59.7%	16.8%	54.0%	14.5%	27.0%
	Pravastatine	37.6%	38.2%	92.6%	74.4%	77.2%	84.0%	85.7%	52.8%	40.5%	82.8%	78.8%	65.2%	17.1%	79.2%	27.4%	26.5%
	Primidone	37.5%	9.2%	69.4%	73.0%	75.1%	78.7%	67.1%	34.4%	23.1%	31.2%	70.2%	68.2%	58.9%	17.8%	39.6%	20.5%
	Propranolol	13.1%	4.1%	19.5%	18.3%	23.6%	40.3%	25.3%	23.6%	11.3%	10.5%	13.9%	50.1%	8.9%	26.1%	5.0%	11.0%
	Sotalol	23.3%	5.9%	12.0%	16.3%	17.2%	13.6%	18.5%	10.2%	17.9%	11.3%	8.4%	51.3%	8.6%	19.5%	8.9%	11.7%
	Venlafaxine	19.6%	4.4%	3.2%	15.6%	18.5%	25.6%	9.8%	16.7%	9.7%	8.5%	13.0%	35.9%	4.9%	17.3%	8.5%	17.4%
Pesticides	Carbendazime	22.8%	34.6%	39.8%	46.4%	29.8%	50.6%	38.6%	26.4%	45.7%	32.7%	27.4%	37.9%	38.4%	49.4%	24.3%	35.0%
	DEET	52.6%	63.4%	88.3%	71.4%	84.8%	89.4%	68.1%	55.0%	48.6%	91.1%	87.4%	65.1%	46.4%	80.9%	25.6%	32.9%
	Diazinon	41.5%	36.7%	34.4%	37.2%	24.3%	51.0%	38.9%	46.6%	48.2%	39.9%	23.1%	47.4%	22.8%	37.8%	30.7%	69.3%
	Diméthoate	68.4%	66.4%	77.9%	69.9%	68.5%	82.1%	74.9%	65.8%	70.0%	69.8%	72.2%	61.0%	62.9%	78.0%	48.0%	61.9%
	Diuron	12.3%	18.8%	27.7%	27.0%	20.2%	54.3%	28.0%	16.9%	36.8%	29.4%	21.0%	32.0%	18.5%	48.7%	3.9%	23.7%
	Isoproturon	50.3%	27.1%	40.0%	27.1%	18.1%	52.2%	47.6%	18.8%	54.2%	26.5%	28.1%	29.6%	39.1%	36.1%	16.5%	33.6%
	MCPA	62.0%	41.7%	59.8%	46.3%	36.4%	66.2%	60.5%	45.2%	51.5%	40.6%	50.1%	60.3%	33.2%	51.4%	36.7%	54.6%
	Mécoprop	35.9%	34.9%	53.7%	42.6%	15.9%	53.0%	48.2%	26.2%	28.5%	27.0%	42.7%	45.7%	20.5%	42.5%	16.7%	38.5%
Produits anticorrosifs	4-et 5-méthylbenzotriazole	15.3%	11.9%	45.1%	26.6%	20.3%	47.7%	34.9%	14.7%	5.7%	33.7%	14.3%	49.3%	5.3%	43.2%	4.9%	19.7%
	Benztotriazole	24.3%	7.3%	51.4%	47.6%	40.2%	58.8%	62.4%	18.1%	17.8%	38.6%	24.5%	46.9%	12.0%	41.4%	11.4%	30.2%
Moyenne		37.9%	28.5%	49.4%	43.6%	43.0%	55.9%	51.6%	33.4%	31.6%	42.0%	38.8%	48.2%	25.7%	48.1%	22.4%	28.9%

Valeurs intermédiaires																				
Abattements faibles Abattements élevés																				
Leysin	Lucens	Lutry	Montreux	Morges	Nyon	Ollon	Orbe	Payenne	Penthaz	Pully	Roche	Rolle	Sainte-Croix	Savigny Pra charbon	Servion	Valorbe	Vevey	Yverdon-les-Bains	Yvonand	Médiane
10.6%	1.2%	3.0%	5.9%	4.1%	7.0%	7.9%	9.3%	6.0%	21.1%	5.2%	11.2%	8.1%	9.2%	13.7%	8.2%	3.9%	3.5%	6.1%	8.5%	10.3%
40.4%	37.5%	21.1%	11.4%	38.9%	14.1%	18.6%	58.7%	42.9%	73.0%	24.1%	60.7%	44.5%	42.4%	66.9%	51.4%	9.4%	10.3%	29.3%	10.6%	43.0%
11.1%	10.0%	9.1%	8.2%	17.1%	18.1%	12.2%	22.2%	11.8%	25.0%	14.1%	36.4%	10.8%	24.0%	26.3%	15.7%	7.3%	8.8%	17.2%	10.5%	17.9%
77.5%	89.2%	92.1%	83.0%	97.1%	72.3%	77.2%	94.7%	86.3%	95.6%	86.9%	98.8%	87.3%	81.9%	95.0%	95.0%	67.0%	88.6%	85.3%	43.8%	86.9%
39.8%	31.2%	12.4%	11.9%	30.7%	22.2%	36.1%	61.8%	23.1%	65.1%	19.5%	75.5%	48.8%	53.4%	62.7%	46.5%	29.7%	15.3%	28.5%	15.4%	42.7%
43.0%	42.2%	35.5%	24.7%	45.6%	22.9%	39.4%	72.4%	29.7%	73.6%	34.6%	72.6%	60.5%	43.5%	64.7%	65.7%	16.5%	29.7%	36.4%	12.1%	51.5%
82.5%	99.7%	96.7%	95.4%	99.9%	97.8%	98.3%	99.8%	99.3%	99.8%	97.2%	99.7%	98.0%	97.0%	99.8%	99.2%	88.9%	96.9%	97.2%	91.1%	97.0%
58.3%	78.0%	79.9%	79.8%	93.5%	87.5%	50.0%	84.7%	45.2%	93.7%	76.2%	79.8%	92.5%	73.4%	76.2%	93.3%	43.4%	83.3%	84.8%	68.2%	78.6%
24.4%	51.6%	18.1%	21.2%	14.1%	17.2%	17.1%	35.2%	49.4%	32.0%	10.0%	17.0%	19.7%	14.9%	23.0%	37.2%	19.5%	28.5%	41.9%	26.5%	27.4%
11.3%	5.0%	0.0%	2.1%	0.6%	0.0%	10.0%	0.0%	8.1%	1.4%	0.0%	0.0%	0.3%	8.6%	22.3%	12.3%	19.7%	0.2%	1.9%	10.1%	7.9%
63.4%	37.9%	41.7%	67.0%	62.9%	18.0%	63.9%	61.0%	59.9%	69.0%	38.3%	71.5%	54.9%	68.9%	62.2%	69.2%	39.7%	53.7%	43.9%	22.5%	55.2%
26.0%	52.3%	37.1%	6.5%	9.6%	10.1%	31.1%	42.3%	37.8%	43.3%	24.0%	36.3%	33.8%	50.4%	59.9%	54.8%	24.9%	7.6%	32.1%	12.7%	37.0%
52.0%	48.7%	30.7%	30.4%	28.5%	7.5%	49.4%	54.5%	47.9%	47.0%	23.5%	25.7%	19.4%	68.7%	62.6%	65.4%	41.5%	26.2%	34.1%	12.3%	41.3%
15.3%	29.4%	7.0%	10.4%	9.0%	17.7%	9.2%	31.7%	14.5%	19.1%	10.6%	39.2%	23.0%	19.9%	15.0%	14.5%	12.5%	10.3%	13.7%	27.8%	21.4%
16.7%	6.5%	12.1%	5.2%	14.5%	10.6%	47.3%	8.0%	8.0%	35.9%	13.6%	1.4%	12.2%	14.0%	10.8%	35.6%	7.9%	7.7%	16.2%	16.5%	17.3%
51.8%	32.1%	16.5%	7.3%	20.0%	21.8%	27.8%	43.6%	9.1%	56.6%	30.4%	61.2%	38.2%	57.9%	73.1%	49.9%	11.9%	16.1%	25.9%	23.8%	41.3%
56.6%	43.3%	33.1%	21.1%	44.5%	9.6%	36.7%	76.6%	14.9%	73.6%	36.0%	54.8%	50.0%	47.3%	68.0%	53.9%	33.2%	19.6%	23.5%	38.7%	48.1%
11.7%	4.4%	1.5%	3.0%	13.0%	2.6%	0.7%	6.9%	4.0%	9.3%	5.3%	0.3%	6.6%	12.0%	15.2%	16.0%	5.1%	2.6%	8.8%	6.5%	7.6%
3.5%	6.3%	1.8%	5.1%	15.0%	6.9%	3.4%	3.6%	5.2%	9.9%	10.2%	2.3%	4.8%	9.5%	6.3%	1.2%	1.1%	8.2%	6.2%	7.9%	6.8%
19.5%	11.0%	9.6%	7.1%	7.1%	33.6%	8.4%	13.0%	9.7%	9.0%	6.2%	11.8%	31.0%	10.3%	10.9%	5.9%	11.0%	7.8%	21.4%	36.0%	15.7%
22.4%	6.5%	7.6%	9.0%	7.8%	10.3%	5.9%	26.7%	5.3%	20.1%	8.3%	5.0%	16.4%	9.4%	24.0%	18.6%	4.9%	7.0%	5.4%	12.3%	17.0%
62.4%	16.0%	41.6%	35.8%	60.8%	34.6%	34.2%	70.0%	13.1%	72.0%	29.3%	74.4%	69.8%	32.0%	72.5%	40.5%	13.9%	28.4%	21.7%	40.5%	49.2%
8.1%	5.5%	4.4%	7.5%	10.2%	6.8%	5.8%	14.7%	8.8%	19.6%	7.7%	6.2%	7.6%	13.1%	15.9%	6.1%	5.7%	7.5%	13.5%	4.4%	10.4%
12.0%	6.6%	9.3%	5.8%	15.1%	8.5%	4.3%	17.0%	5.9%	18.3%	10.8%	11.5%	9.6%	14.1%	14.9%	21.8%	7.1%	4.2%	11.9%	12.2%	12.5%
61.8%	64.8%	43.5%	13.0%	53.7%	35.7%	45.6%	92.5%	39.0%	83.9%	57.7%	87.2%	81.3%	54.8%	67.3%	86.8%	27.2%	46.4%	52.0%	39.9%	64.5%
44.9%	14.3%	4.0%	5.3%	20.6%	13.5%	9.6%	15.1%	7.1%	25.4%	10.6%	6.0%	9.9%	22.6%	38.7%	11.8%	5.8%	5.5%	10.8%	14.4%	19.7%
22.1%	21.4%	15.0%	9.4%	13.6%	31.8%	30.3%	30.6%	15.7%	40.0%	17.1%	19.8%	21.0%	26.2%	37.1%	30.4%	23.7%	6.2%	15.8%	16.7%	26.7%
57.6%	28.3%	25.6%	7.7%	18.4%	17.5%	43.4%	76.4%	13.6%	70.8%	35.4%	80.8%	71.3%	69.9%	75.9%	68.7%	18.0%	13.3%	20.0%	17.4%	49.7%
51.7%	27.6%	29.9%	37.5%	28.6%	40.1%	58.8%	28.1%	13.2%	54.5%	40.8%	31.8%	49.0%	43.5%	22.3%	75.4%	29.7%	26.4%	19.9%	14.3%	41.6%
19.6%	28.5%	7.1%	5.5%	21.1%	26.5%	5.7%	14.5%	5.3%	26.1%	6.7%	7.4%	17.8%	7.0%	13.3%	7.2%	13.2%	3.9%	19.5%	29.4%	16.4%
20.8%	1.3%	5.5%	10.7%	7.9%	7.8%	9.3%	22.7%	3.9%	17.2%	8.6%	5.8%	4.4%	12.3%	15.8%	11.0%	27.0%	8.0%	9.9%	10.3%	13.2%
10.1%	7.0%	4.1%	3.8%	9.5%	20.6%	3.2%	5.6%	8.0%	20.7%	8.3%	2.5%	20.5%	9.5%	8.7%	8.2%	9.2%	9.9%	13.4%	12.0%	11.8%
36.7%	34.9%	42.3%	31.9%	40.1%	27.0%	39.1%	59.0%	33.1%	32.5%	34.7%	36.5%	23.1%	46.2%	34.1%	49.6%	47.7%	33.4%	30.2%	16.6%	36.3%
38.1%	56.9%	67.4%	34.0%	52.0%	36.4%	43.0%	67.5%	35.8%	78.9%	52.7%	78.1%	69.1%	53.6%	63.2%	66.9%	18.7%	41.9%	45.5%	19.2%	57.5%
44.7%	31.6%	27.2%	39.3%	29.7%	42.1%	38.9%	38.5%	24.4%	19.2%	32.1%	47.2%	22.6%	35.0%	43.4%	36.5%	29.8%	28.1%	38.7%	40.7%	36.7%
63.6%	44.9%	66.4%	63.4%	57.9%	45.8%	66.4%	69.7%	65.1%	63.8%	67.1%	65.2%	69.9%	73.1%	77.8%	75.5%	57.3%	62.6%	47.9%	42.1%	65.1%
41.8%	20.3%	28.2%	21.3%	32.3%	11.1%	36.9%	28.4%	30.9%	31.1%	25.4%	10.8%	13.7%	24.2%	22.8%	37.4%	21.0%	22.1%	20.7%	17.7%	25.5%
63.0%	33.8%	29.4%	40.1%	40.0%	19.3%	48.4%	37.8%	30.0%	21.7%	38.0%	26.3%	41.7%	38.6%	35.2%	63.4%	30.5%	38.7%	25.4%	40.1%	35.7%
56.6%	66.3%	36.4%	43.6%	55.3%	35.8%	54.3%	57.4%	53.8%	32.4%	49.8%	53.5%	58.8%	58.9%	56.9%	59.0%	37.4%	41.9%	47.4%	48.6%	50.0%
30.1%	32.9%	22.5%	23.6%	39.1%	21.8%	31.4%	41.2%	27.5%	26.3%	32.3%	39.0%	48.7%	44.0%	50.4%	36.1%	20.8%	25.3%	16.5%	14.6%	33.2%
4.3%	12.8%	2.4%	13.1%	5.5%	9.6%	4.4%	5.9%	15.3%	15.9%	7.5%	43.3%	14.7%	9.4%	15.7%	12.1%	7.9%	12.6%	10.5%	11.9%	17.4%
15.9%	21.1%	9.6%	13.2%	17.9%	10.7%	11.9%	15.6%	12.4%	27.7%	16.4%	30.4%	16.7%	26.2%	30.4%	27.6%	27.3%	15.7%	23.1%	12.2%	25.4%
35.8%	31.0%	25.9%	23.4%	31.0%	24.1%	30.4%	40.8%	25.7%	42.2%	27.7%	38.7%	35.8%	36.4%	42.2%	41.5%	23.3%	24.1%	27.9%	23.5%	35.0%

77

MICROPOLLUANTS DANS LES STATIONS D'ÉPURATION VAUDOISES

ANNEXES

Annexe 10

Comparaison de l'abattement moyen des micropolluants dans les STEP nitrifiantes et non-nitrifiantes

Micropolluant		STEP nitrifiantes $\bar{X} \pm \sigma$	STEP non nitrifiantes $\bar{X} \pm \sigma$
Médicaments – Analgésiques	Acetamidoantipyrine	14.1 ± 3.7	8.1 ± 5.4
	Acide méfénamique	67.7 ± 13.2	29.0 ± 14
	Diclofénac	26.1 ± 10.5	13.3 ± 5.4
	Ibuprofène	96.3 ± 4.6	81.6 ± 12.4
	Ketoprofen	62.9 ± 12.9	31.3 ± 13.5
	Naproxène	74.6 ± 13.3	38.4 ± 14.8
	Paracetamol	98.8 ± 2.7	96.0 ± 4.6
Médicaments – Antibiotiques	Acetylsulfamethoxazole	86.3 ± 6.8	74.3 ± 14.9
	Clarithromycine	29.5 ± 13.2	26.1 ± 11.3
	Clindamycine	9.3 ± 7.7	7.2 ± 9.0
	Sulfaméthazine	66.5 ± 10.1	48.8 ± 15.1
	Sulfaméthoxazole	52.5 ± 14.9	28.2 ± 14
	Sulfapyridine	48.1 ± 15.8	37.4 ± 16.9
	Triméthoprim	27.7 ± 12.7	17.8 ± 8.7
Médicaments – Autres	Amisulpride	19.7 ± 10.8	15.9 ± 14
	Aténolol	63.9 ± 14.3	28.5 ± 17.5
	Béazafibrate	68.0 ± 15.3	36.9 ± 16.9
	Candésartan	9.4 ± 4.3	6.6 ± 3.6
	Carbamazépine	7.2 ± 5.8	6.7 ± 3.4
	Citalopram	15.6 ± 9.3	15.8 ± 12.1
	Gabapentine	27.2 ± 17.8	11.2 ± 6.1
	Gemfibrozile	69.0 ± 12.6	38.0 ± 17.7
	Hydrochlorothiazide	12.7 ± 4.8	9.0 ± 4.3
	Irbésartan	17.3 ± 5.5	9.8 ± 3.7
	Metformine	86.8 ± 7.9	51.8 ± 18.8
	Métoprolol	29.1 ± 16.9	14.3 ± 10.6
	Mirtazapine	35.3 ± 11.2	21.9 ± 10.9
	Pravastatine	77.2 ± 9.7	34.2 ± 20.7
	Primidone	53.9 ± 22.8	34.6 ± 15.5
	Propranolol	19.6 ± 9.3	14.6 ± 11.1
	Sotalol	13.6 ± 4.2	13.0 ± 10.7
	Venlafaxine	13.0 ± 6.9	11.1 ± 7.5
Pesticides	Carbendazime	38.0 ± 8.6	35.4 ± 9.4
	DEET	77.2 ± 11.4	46.4 ± 14.9
	Diazinon	36.9 ± 9.7	36.5 ± 10.3
	Diméthoate	72.4 ± 5.8	61.0 ± 9.1
	Diuron	28.9 ± 12.1	23.6 ± 9.1
	Isoproturon	33.9 ± 13.7	36.7 ± 10.7
	MCPA	50.6 ± 10.1	49.7 ± 9.6
	Mécoprop	38.7 ± 11.8	30.1 ± 9.8
Produits anticorrosifs	4-et 5-méthylbenzotriazole	28.3 ± 13.5	11.3 ± 9.4
	Benzotriazole	38.4 ± 13.6	18.1 ± 8.7
Somme		43.9 ± 10.5	30.0 ± 11.1

Annexe 11

Liste des critères de qualité environnementale (CQE) pour les micropolluants urbains

Micropolluant		CQE Aiguë [ng / L]	CQE Chronique [ng / L]
Médicaments – Analgésiques	Acetamidoantipyrine		
	Acide méfénamique		1'000
	Diclofénac		50
	Ibuprofène	1'700'000	11
	Ketoprofen		
	Naproxène	860'000	1700
	Paracetamol		
Médicaments – Antibiotiques	Acetylsulfamethoxazole		
	Clarithromycine	190	120
	Clindamycine		
	Sulfaméthazine	30'000	30'000
	Sulfaméthoxazole	2'700	600
	Sulfapyridine		
	Triméthoprim	210'000	120'000
Médicaments – Autres	Amisulpride		
	Aténolol	330'000	150'000
	Bézafibrate	4'000'000	2'300
	Candésartan		
	Carbamazépine	2'000'000	2'000
	Citalopram		
	Gabapentine		
	Gemfibrozile		
	Hydrochlorothiazide		
	Irbésartan	19'000'000	700'000
	Metformine	640'000	160'000
	Métoprolol	75'000	8'600
	Mirtazapine		
	Pravastatine		
	Primidone		
	Propranolol	12'000	160
	Sotalol		
	Venlafaxine		
Pesticides	Carbendazime	700	440
	DEET	410'000	88'000
	Diazinon	20	12
	Diméthoate	980	70
	Diuron	250	70
	Isoproturon	1'700	640
	MCPA	6'400	660
	Mécoprop	190'000	3600
Produits anticorrosifs	4-et 5-méthylbenzotriazole	430'000	20'000
	Benzotriazole	160'000	19'000

Références

Hollender, J., Zimmermann, S. G., Koepke, S., Krauss, M., Mc Ardell, C. S., Ort, C., et al. (2009). Elimination of Organic Micropollutants in a Municipal Wastewater Treatment Plant Upgraded with a Full-Scale Post-Ozonation Followed by Sand Filtration. *Environmental Science and Technology*(43), 7862-7869.

Ikehata, K., Gamal El-Din, M., & Snyder, S. A. (2008). Ozonation and Advanced Oxidation Treatment of Emerging Organic Pollutants in Water and Wastewater. *Ozone: Science and Engineering*, 30(1), 21-26.

Karkman, A., Do, T. T., Walsh, F., & Virta, M. P. (2018). Antibiotic-Resistance Genes in Waste Water. *Trends in Microbiology*, 26(3), 220-228.

Lee, Y., & Von Gunten, U. (2010). Oxidative transformation of micropollutants during municipal wastewater treatment: Comparison of kinetic aspects of selective (chlorine, chlorine dioxide, ferrate IV, and ozone) and non-selective oxidants (hydroxyl radical). *Water Research*(44), 555-566.

Lee, Y., Gerrity, D., Lee, M., Encinas Bogeat, A., Salhi, E., Gamage, S., et al. (2013). Prediction of Micropollutants Elimination during Ozonation of Municipal Wastewater Effluents: Use of Kinetic and Water Specific Information. *Environmental Science and Technology*, 47(11), 5872-5881.

Margot, J., Kienle, C., Magnet, A., Weil, M., Rossi, L., de Alencastro, L. F., et al. (2013). Treatment of micropollutants in municipal wastewater: Ozone or powdered activated carbon? *Science of the Total Environment*, 480-498.

Schwarzenbach, R. P., Escher, B. I., Fenner, K., Hofstetter, T. B., Johnson, C. A., von Gunten, U., et al. (2006). The Challenge of Micropollutants in Aquatic Systems. *Science*, 313 (5790), 1072-1077.

Ternes, T., & Joss, A. (2006). *Human Pharmaceuticals, Hormones and Fragrances - The Challenge of Micropollutants in Urban Water Management*. IWA Publishing.

