

## Master of Science in Environmental Science

### Évaluation des rejets médicamenteux issus des établissements médico-sociaux dans les eaux usées et de surface

Vincenzo Guzzardi

Sous la direction de Dre Nathalie Chèvre



Échantillonneur devant l'EMS La Rosière à Gimel  
Vincenzo Guzzardi, 2023

Janvier – 2024

## Complément au procès-verbal de notes

Session : **Jan.24**  
 Étudiant·e : **Vincenzo Guzzardi**  
 Directeur·trice : **Nathalie Chèvre**  
 Expert·e : **Anne Niquille, Davide Städler**

Convention de transmission des travaux de master en sciences de l'environnement (MSc Env) déposés dans les archives de la bibliothèque des sciences de la Terre.

Les travaux du master en sciences de l'environnement sont juridiquement considérés comme des copies d'examen et sont, à ce titre, confidentiels.

Cependant, la confidentialité peut être exceptionnellement levée avec l'accord de l'étudiant et du directeur de mémoire pour des **motifs de recherche scientifique, sans but commercial**.

- Par sa signature, l'étudiant en autorise la transmission sous format papier et électronique pour des motifs de recherche scientifique, par la bibliothèque des sciences de la Terre.
- Le directeur du travail doit indiquer si le travail contient des données juridiquement confidentielles (par ex. des données de compagnies pétrolières ou minières) ne pouvant pas être diffusées.

Le directeur du travail peut en outre décider d'une période d'embargo durant laquelle le travail ne sera pas transmis, même pour des motifs de recherche scientifique. La période d'embargo s'éteint automatiquement au plus tard à la retraite du directeur du mémoire ou lorsque le directeur quitte l'Université de Lausanne.

### À REMPLIR PAR LE DIRECTEUR/LA DIRECTRICE DU TRAVAIL DE MASTER ET L'EXPERT·E

	Oui	Non
Le mémoire est-il confidentiel ?	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Le travail est-il soumis à un embargo ? / si oui jusqu'à quand ? .../.../...	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
L'embargo peut être levé avant la date indiquée moyennant l'accord de l'auteur·e / du directeur/de la directrice ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Directeur·trice**  
 Lieu et date : Lausanne, 23.01.24 ..... Signature

**Expert·e**  
 Lieu et date : Lausanne, 23.01.24 ..... Signature

### À REMPLIR PAR L'ÉTUDIANT·E

Par sa signature, l'étudiant·e autorise la transmission de son travail de master pour des motifs de recherche scientifique sans but commercial.

**Étudiant·e**  
 Lieu et date : Lausanne, 23.01.24 ..... Signature



## **Remerciements**

Je tiens tout d'abord à remercier Nathalie Chèvre, maître d'enseignement et de recherche à l'Institut des dynamiques de la surface terrestre (IDYST) à l'Université de Lausanne pour sa disponibilité, ses conseils et ses critiques constructives qui m'ont permis d'accomplir ce travail.

Mes remerciements vont également à Anne Niquille, Pharmacienne cheffe adjointe à Unisanté pour sa disponibilité, ses idées et son aide précieuse pour les éléments pharmacologiques.

Merci à Floreana Miesen et Aurélien Ballu, collaborateurs de recherche à l'IDYST pour l'organisation et la mise à disposition du matériel de terrain ainsi que leur formation et conseils sur l'utilisation des échantillonneurs ISCO.

Merci également à Laetitia Monbaron et Micaela Faria, techniciennes du laboratoire de l'IDYST pour leur aide et conseils ainsi que leur appui logistique en laboratoire.

Je remercie Davide Staedler, Chief Executive Officer chez TIBIO, et son équipe pour sa disponibilité et la visite des laboratoires.

Ma reconnaissance va à Laurent Bolay, responsable d'exploitation de la STEP de Gimel ainsi que Jean-Daniel Chollet, collaborateur à Adénosine Sàrl pour leur accueil et leur collaboration sur site. Leur expérience de terrain m'a été extrêmement précieuse.

Je remercie également Christine Vannay, directrice de l'EMS La Rosière pour son accueil et ses précieuses informations sur son établissement ainsi que son équipe technique pour l'appui indispensable lors de l'échantillonnage.

Pour finir, je tiens à remercier mes proches et mes camarades de classe pour leur soutien tout au long de ce travail, plus particulièrement Aude Spicher pour ses relectures méticuleuses.

# Table des matières

<b>Table des illustrations</b> .....	<b>3</b>
<b>Table des tableaux</b> .....	<b>4</b>
<b>Abréviations</b> .....	<b>5</b>
<b>Résumé</b> .....	<b>6</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>7</b>
<b>1 Introduction</b> .....	<b>8</b>
<b>2 Caractéristiques des substances étudiées</b> .....	<b>11</b>
2.1 Usages et posologies des substances.....	12
2.2 Propriétés physico-chimiques .....	14
<b>3 Zone et cas d'étude</b> .....	<b>15</b>
3.1 Les STEP dans le canton .....	15
3.2 Les EMS dans le canton .....	17
3.3 Caractéristiques du bassin versant sélectionné .....	18
<b>4 Matériel et méthode</b> .....	<b>20</b>
4.1 Critères de sélection du cas d'étude .....	20
4.2 Sites d'échantillonnage .....	22
4.3 Période et durée d'échantillonnage .....	23
4.4 Matériel et paramétrage .....	24
4.5 Laboratoire .....	25
4.6 Préparation des données.....	27
4.7 Analyse des données .....	28
<b>5 Résultats</b> .....	<b>32</b>
5.1 Consommations des médicaments à La Rosière.....	32
5.2 Fréquence de détection des mesures.....	33
5.3 Rejets de l'EMS.....	34
5.4 Entrée et sortie de STEP.....	35
5.5 Comparaison entre les sites .....	39
5.6 Rejets en rivière et évaluation du risque .....	41
<b>6 Discussion</b> .....	<b>47</b>
6.1 Consommation de l'EMS .....	47
6.2 Rejets de l'EMS.....	48
6.3 Apports et rejets de la STEP .....	50
6.4 Part de l'EMS dans la STEP .....	53
6.5 Évaluation du risque environnemental.....	55
6.6 Solutions et perspectives .....	57
6.7 Limitations du travail .....	58
<b>7 Synthèse et conclusion</b> .....	<b>59</b>
<b>8 Références</b> .....	<b>62</b>
<b>9 Annexes</b> .....	<b>I</b>
9.1 Protocole laboratoire (TIBIO, 2023).....	I

9.2	Classification <i>Anatomical Therapeutic Chemical</i> (ATC).....	III
9.3	Consommation annuelle des principes actifs de l'EMS La Rosière .....	IV
9.4	Données brutes de l'échantillonnage.....	VIII
9.5	Statistiques des concentrations des substances par site.....	XI
9.6	Micropolluants en STEP de Gimel.....	XII
9.7	Plaquette de présentation du BioCat+ (Chollet, 2023) .....	XIV

## Table des illustrations

Figure 1	Sources principales des médicaments dans l'environnement.....	9
Figure 2	STEP du canton de Vaud par bassins versants de STEP représentant le nombre d'habitants raccordé ainsi que le facteur de dilution dans le milieu naturel .....	16
Figure 3	EMS du canton de Vaud par bassins versants de STEP représentés par le nombre de lits. Les EMS ayant moins de 50 places sont en mauve .....	18
Figure 4	Bassin versant de la STEP de Gimel avec le réseau de l'évacuation des eaux usées et les exutoires. Les bâtiments d'intérêt sont mis en évidence .....	19
Figure 5	Arbre de décision de la pertinence du bassin versant .....	21
Figure 6	Emplacements des sites d'échantillonnage dans le bassin versant de la STEP de Gimel avec le réseau d'évacuation des eaux usées.....	22
Figure 7	Proportion moyenne annuelle des catégories ATC consommées à La Rosière entre 2018 et 2021 sans le macrogol .....	32
Figure 8	Concentrations des échantillons du site A de chaque substance. La moyenne des échantillons est en violet traitillé. ....	34
Figure 9	Rapport entre les concentrations prédites (PEC) et les mesures des échantillons (MEC) .....	35
Figure 10	Concentrations des échantillons du site B de chaque substance. La moyenne des échantillons est en violet traitillé .....	36
Figure 11	Concentrations des échantillons du site C de chaque substance. La moyenne des échantillons est en violet traitillé .....	37
Figure 12	Taux d'abattement moyen des substances avec les minimums et maximums.....	38
Figure 13	Température et pluviométrie de la station de Bière pendant la période d'échantillonnage .....	39
Figure 14	Volumes en entrée de STEP par 12h pendant la période d'échantillonnage.....	40
Figure 15	Charge de chaque site de chaque substance avec la consommation journalière .....	41
Figure 16	Pourcentage des rejets de l'EMS en entrée de STEP .....	42
Figure 17	PEC dans le milieu récepteur d'après les mesures en sortie de STEP avec les proportions min et max de l'EMS .....	43
Figure 18	Ratio entre les $PEC_{conso}$ et $PEC_{rejets}$ .....	44

Figure 19 Quotient de risque des $PEC_{rejets}$ . Les $QR > 1$ signifie un risque important, $1 > QR > 0.1$ est un risque moyen et $QR < 0.1$ , un risque faible .....	45
Figure 20 Quotients de risque attribués aux rejets de l'EMS .....	46
Figure 21 Consommation de bêtabloquants en DDD par 1'000 hab. par jour pour 2019 en Suisse (données : Observatoire suisse de la santé, 2023) .....	54

## Table des tableaux

Tableau 1 Paramètres physico-chimiques et PNEC des substances analysées .....	15
Tableau 2 Dates et plages horaires de la collecte de chaque échantillon avec les sites correspondants .....	24
Tableau 3 Liste des standards pour l'analyse des substances .....	26
Tableau 4 Nombre d'échantillons ayant détecté une substance. N = nombre d'échantillons par site .....	33
Tableau 5 Moyenne des micropolluants analysés en sortie des STEP vaudoises avec les résultats des mesures pour comparaison. Rapport de l'épuration vaudoise 2022, annexe E6, p.86 .....	51
Tableau 6 Proportion de mg vendu à La Rosière de la pharmacie de Gimel de mai à juin 2023. Les données mesurées dans les eaux permettent une comparaison directe .....	55

## Abréviations

ATC	<i>Anatomical Therapeutic Chemical classification</i> (classification anatomique, thérapeutique et chimique)
CHUV	Centre hospitalier universitaire vaudois ( <a href="http://www.chuv.ch">www.chuv.ch</a> )
DDD	<i>Defined daily dose</i> (Dose quotidienne déterminée)
DGE	Direction générale de l'environnement de l'État de Vaud
EH	Équivalent-habitant
EMA	<i>European medicine agency</i> (Agence européenne de médecine) ( <a href="http://www.ema.europa.eu">www.ema.europa.eu</a> )
EMS	Établissement médico-social
FD	Facteur de dilution
LQ	Limite de quantification
MEC	<i>Mesured environmental concentration</i> (concentration environnementale mesurée)
OEaux	Ordonnance fédérale de la protection des eaux
OFEV	Office fédéral de l'environnement ( <a href="http://www.bafu.admin.ch">www.bafu.admin.ch</a> )
OFS	Office fédéral de la statistique ( <a href="http://www.bfs.admin.ch">www.bfs.admin.ch</a> )
OMS	Organisation mondiale de la Santé ( <a href="http://www.who.int">www.who.int</a> )
PEC	<i>Predicted environmental concentration</i> (concentration environnementale prédite)
PNEC	<i>Predicted no-effect concentration</i> (Concentration sans effet attendu)
QR	Quotient de risque
SIG	Système d'information géographique
STEP	Station d'épuration
Unisanté	Centre universitaire de médecine générale et santé publique ( <a href="http://www.unisante.ch">www.unisante.ch</a> )

## Résumé

Une fois dans l'environnement les médicaments sont considérés comme des micropolluants, c'est-à-dire qu'ils peuvent être toxiques à de très faibles concentrations. La source principale des résidus pharmaceutiques dans les eaux provient de l'excrétion par les humains. Les établissements médico-sociaux (EMS) hébergeant des personnes souvent âgées et dépendantes sur le long terme sont une source potentiellement importante de médicaments dans les eaux. Ce travail a pour but d'évaluer les rejets pharmaceutiques d'un EMS et de sa contribution à la pollution des eaux de surfaces.

Pour ce faire, des échantillons composites de 12h ont été prélevés en sortie des eaux usées d'un EMS, ainsi qu'en entrée et sortie de la station d'épuration (STEP) en aval. Dix substances traces choisies sur la base de la consommation de l'EMS et des possibilités analytiques ont été recherchées dans ces échantillons. Les mesures ont été comparées aux concentrations prédites et une évaluation du risque pour le milieu récepteur a été faite pour chaque substance.

Les résultats ont montré que l'EMS est une source importante de rejets de médicaments. Sept des dix substances recherchées ont été trouvées dans les eaux usées de l'EMS. Les charges variaient beaucoup selon la substance étudiée, allant de 0.3 mg à 12.2 g sur 12h, la metformine étant la plus élevée. La proportion de la part de l'EMS dans l'effluent de la STEP se situait entre 0.6% et 3% sauf pour la metformine, le métoprolol et le sotalol qui allaient de 20% à 100%. L'abattement de la STEP se trouvait dans la moyenne cantonale pour les substances étudiées. L'analyse de risque dans le milieu naturel a mis en évidence celui présenté par la venlafaxine et le propranolol. Cependant, ceux-ci n'étaient que très peu rejetés par l'EMS. Néanmoins, si ce dernier n'est pas la cause des dépassements des critères de qualité, il contribue aux rejets de substances qui participent aux risques liés aux effets de mélanges. De plus, ni les métabolites ni les autres substances consommées par l'EMS n'ont été pris en compte dans ce travail, ce qui peut augmenter le risque pour l'environnement.

**Mots-clés :** Rejets pharmaceutiques, Effluents des EMS, Évaluation des risques, Eaux usées

## **Abstract**

Once in the environment, pharmaceuticals are considered as micropollutants, meaning they can be toxic at very low concentrations. The main source of pharmaceutical residues in water comes from human excretions. Senior residences, housing often elderly and dependent individuals on a long-term basis, are a potentially significant source of medications in water. This study aims to assess the pharmaceutical discharges from a senior residence and its contribution to surface water pollution.

To achieve this, 12-hour composite samples were collected from the wastewater outlet of a residence, as well as at the inlet and outlet of the downstream wastewater treatment plant (WWTP). Ten selected trace substances, based on the senior residence's consumption and analytical capabilities, were investigated in these samples. The measurements were compared to predicted concentrations, and a risk assessment for the receiving environment was conducted for each substance.

The results showed that the senior residence is a significant source of pharmaceuticals discharges. Seven out of the ten targeted substances were found in the residence's wastewater. The loads varied widely depending on the substance studied, ranging from 0.3 mg to 12.2 g over 12 hours, with metformin being the highest. The proportion of the senior residence's contribution to the WWTP effluent ranged from 0.6% to 3%, except for metformin, metoprolol, and sotalol, which ranged from 20% to 100%. The WWTP removal efficiency was within the cantonal average for the studied substances. Risk analysis in the natural environment highlighted those posed by venlafaxine and propranolol. However, these substances were only minimally discharged by the residence. Nevertheless, even if the senior residence is not the cause of exceeding quality criteria, it contributes to the discharge of substances that contribute to the risks associated with mixture effects. Additionally, neither metabolites nor other substances consumed by the senior residence were considered in this study, which may increase the risk to the environment.

**Keywords:** Pharmaceuticals residues, Senior residences effluents, Risk assessment, Wastewaters

# 1 Introduction

Les médicaments sont un élément essentiel pour le système de santé suisse. En 2017, une personne sur deux en consomme chaque semaine (OFS, 2019). L'Organisation mondiale de la Santé (OMS) relève que, « les préparations pharmaceutiques et les médicaments sont des préparations médicales utilisées dans la médecine moderne et traditionnelle, qui sont indispensables pour prévenir et traiter les maladies ainsi que pour protéger la santé publique » (OMS, 2023). Les médicaments sont également administrés dans un cadre vétérinaire afin de limiter la prolifération de maladies au sein des élevages (Swissmedic, 2023). Pour des raisons de simplification et de généralisation, le terme médicament est utilisé dans ce travail pour parler du principe actif principal et non du composé complet.

Cependant, les médicaments sont également une source d'effets indésirables, notamment pour l'environnement. En effet, une fois dans le milieu naturel, les préparations pharmaceutiques sont considérées comme des micropolluants. C'est-à-dire qu'elles sont toxiques à de faibles concentrations, de l'ordre du ng/l pour certaines. Les micropolluants de manière générale sont davantage étudiés depuis une vingtaine d'années et se retrouvent dans un grand nombre d'écosystèmes (Khan et al., 2022). La charge des médicaments dans le Léman représente plusieurs tonnes de substances, à des concentrations souvent en µg/l (Plagellat et al., 2021). Les différentes études qui ont recherché des polluants dans les eaux à travers le monde ont généralement trouvé des concentrations systématiquement significatives pour au moins une des substances analysées (Khan et al., 2022; Luo et al., 2014; Pal et al., 2010; Petrie et al., 2015). Il est donc important de comprendre les sources et le comportement de ces polluants dans l'environnement et plus particulièrement dans les milieux aquatiques.

Contrairement à d'autres produits chimiques, les médicaments amènent des incertitudes plus grandes quant à la toxicité effective dans l'environnement et le devenir de ces polluants. En effet, ils ont souvent une structure complexe, différent en termes de polymorphisme et subissent des modifications de la substance dans le métabolisme humain et animal (Fatta-Kassinos et al., 2011). En effet, lors de la prise d'un médicament, celui-ci est métabolisé par les reins et le foie pour ensuite être éliminé par les urines et les selles. Selon la pharmacocinétique du composé, chaque substance n'est pas excrétée à la même vitesse ni dans les mêmes quantités. De plus, une part de cette dernière est transformée par le métabolisme humain qui va créer des métabolites. Le

corps va donc éliminer une fraction plus ou moins grande de substance non transformée (dite parente) et un ou plusieurs métabolites. L'impact de ces derniers est difficilement quantifiable, car leur forme peut être très différente de la molécule parente (Celiz et al., 2009). L'identification et la détection des métabolites soulèvent donc de nombreux défis. Si leur toxicité n'est souvent pas plus élevée que la molécule initiale, de nombreuses incertitudes demeurent sur leur devenir et leurs interactions dans l'environnement (Chèvre, 2014).

La figure 1 présente les sources principales des médicaments qui se retrouvent dans le milieu naturel. La majorité des rejets de médicaments dans les eaux usées proviennent de la métabolisation du corps humain, après consommation des produits (Fatta-Kassinos et al., 2011). Ces substances sont ensuite acheminées par le réseau d'évacuation des eaux usées dans les stations d'épurations (STEP) avant d'être rejetées dans les eaux de surface après traitement. Or, la majorité des STEP en Suisse ne sont pas équipées d'une filière de traitement dédiée pour les micropolluants comme une filtration à charbon actif ou d'ozonation (Wunderlin et al., 2018). Cela implique qu'une grande partie des micropolluants est rejetée dans l'environnement sans être épurée, car les traitements traditionnels, tel que les boues actives entre autres, ont de la peine à abattre correctement ces composés (Luo et al., 2014).

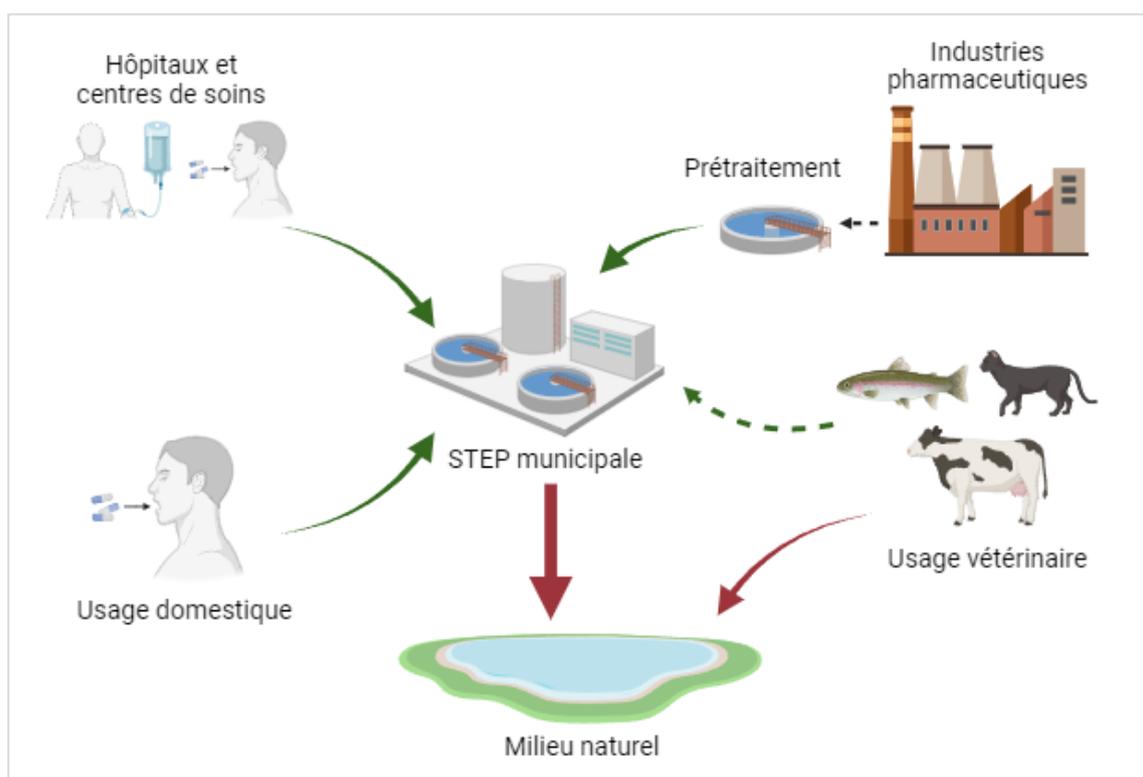


Figure 1 Sources principales des médicaments dans l'environnement

Les hôpitaux sont une source de rejets de médicaments importante étant donné leur nature à administrer des médicaments dans le cadre de leurs fonctions. Ceux-ci rejettent plusieurs types de médicaments. Entre 10% et 20% des rejets médicamenteux dans les STEP sont attribués aux hôpitaux (Daouk et al., 2016; Le Corre et al., 2012). Les principaux types de médicaments retrouvés dans les rejets des hôpitaux sont les contrastes pour rayons X, analgésiques, anti-inflammatoires, antibiotiques et laxatifs (Escher et al., 2011; Le Corre et al., 2012). Il n'est pas aisé de définir la proportion précise de l'hôpital et celle-ci peut varier fortement selon le nombre de lits et la population du bassin versant. De plus, une partie des médicaments administrés à l'hôpital sont excrétés par le patient à domicile, ce qui disperse les sources (Escher et al., 2011), sans compter que les médicaments peuvent également être consommés dans le cadre d'un usage domestique.

Les caractéristiques des établissements médico-sociaux (EMS) se différencient des hôpitaux par leur fonctionnement et leur mission. Contrairement aux hôpitaux, les EMS sont des structures beaucoup plus nombreuses réparties sur tout le territoire. Il est donc commun de retrouver des établissements en dehors des zones urbaines sur des bassins versants dont la STEP communale rejette les eaux dans un petit cours d'eau avec un faible facteur de dilution. De plus, ce sont des infrastructures médicalisées hébergeant des personnes souvent âgées et en situation de dépendance généralement sur le long terme. Selon l'OFS, la durée moyenne d'un séjour est d'environ 2.5 ans (OFS, 2020). La Suisse compte en 2020 1'553 EMS offrant 100'694 lits pour une moyenne de 65 lits par établissement (OFS, 2020). Les EMS présentent un intérêt particulier pour l'analyse des rejets de médicaments, car la moyenne d'âge des résidents est de plus de 65 ans. En Europe, cette tranche démographique est plus sujette à la polymédication que le reste de la population, consommant entre cinq et dix pilules par jour (Gómez-Canela et al., 2019; Lacorte et al., 2018). Les résidents habitant à temps plein dans ces établissements, les EMS sont alors potentiellement des sources de rejets continus d'une grande quantité de médicaments. De plus, les prédictions démographiques anticipent une augmentation de personnes de plus de 65 ans dans le futur en lien avec le *Baby-boom* des années 1950 et l'augmentation de l'espérance de vie (OFS, 2022b). Ces scénarios vont de pair avec un accroissement des dépendances liées à l'âge, augmentant ainsi les besoins de places en maisons de retraite.

De ce fait, il est donc pertinent de s'intéresser aux effluents des EMS. Si des travaux ont évalué les rejets médicamenteux des EMS et les risques environnementaux en Europe

(Gómez-Canela et al., 2019; Lacorte et al., 2018, 2021; Luís et al., 2021), l'impact de ces rejets issus des établissements médico-sociaux reste encore peu connu et étudié.

L'objectif de ce travail est d'évaluer l'impact des rejets pharmaceutiques d'un EMS dans les eaux de surface et ses proportions par rapport au bassin versant total. Pour ce faire, ce mémoire a été pensé en collaboration avec le Centre universitaire de médecine générale et santé publique (Unisanté). Unisanté est un centre interdisciplinaire actif sur l'ensemble de la chaîne des soins et de la recherche. Leur mission est de promouvoir la santé et mener des campagnes de prévention auprès de la population vaudoise (Unisanté, 2023). Ils ont notamment mis à disposition les données de consommation des EMS vaudois et offert un soutien pour les questions pharmacologique et de santé.

Les EMS regroupant à temps plein dans un même lieu une population qui consomme une grande quantité de médicaments, ils rejettent des substances dans les eaux via les excréments. De plus, les EMS se trouvant parfois en dehors des centres urbains, contrairement aux hôpitaux, ses effluents sont traités dans de petites STEP qui rejettent les eaux dans une rivière à faible débit. Les principaux buts de cette recherche seront donc de quantifier les concentrations d'une sélection de substances en sortie des eaux usées d'un EMS, ainsi qu'en entrée et sortie de la STEP municipale du bassin versant correspondant. La proportion de l'EMS ainsi que les concentrations dans le milieu récepteur pourront de ce fait être évaluées.

Au vu des éléments résumés ci-dessus, plusieurs hypothèses méritent d'être posées :

1. L'EMS est-il une source majeure de rejets de produits pharmaceutiques ?
2. Quelle proportion des rejets pharmaceutiques peut être attribuée à l'EMS ?
3. Quel est le devenir de ces substances dans les eaux usées et l'environnement ?

## **2 Caractéristiques des substances étudiées**

Ce chapitre détaille les caractéristiques pharmacologiques et physico-chimiques des dix substances sélectionnées. Unisanté possède une base de données des médicaments consommés dans les EMS vaudois (Unisanté, 2023). Une liste de la consommation totale en mg des EMS issue de cette base de données a pu être mise à disposition. Les données de consommation de 2018 à 2021 ont été utilisées. Celles-ci sont confidentielles et ne seront pas publiées dans ce travail en tant que telles.

Le choix des substances analysées s'est porté selon deux critères ; les substances les plus consommées annuellement par l'EMS selon la base de données d'Unisanté ainsi que les possibilités analytiques du laboratoire TIBIO à Lausanne qui a procédé aux analyses (TIBIO, 2023). En effet, le but étant de mettre en avant la contribution de l'EMS dans les rejets de la STEP, les substances les plus administrées sont prises en compte. Cependant, la liste des substances choisies a dû s'adapter aux méthodes analytiques du laboratoire qui pour des raisons de budget ne pouvaient pas développer une méthode pour toutes les substances proposées. Les substances choisies sont donc un compromis entre les données de consommation et les propositions de TIBIO. Cette liste comporte deux analgésiques, deux antibiotiques, deux antidépresseurs, trois bêtabloquants et un antidiabétique. Ces types de médicaments sont généralement consommés par les résidents des établissements médico-sociaux en Europe (Lacorte et al., 2021).

## **2.1 Usages et posologies des substances**

Les usages et posologies des médicaments sont issus de la base de données en ligne Compendium (Compendium, 2023). Les propriétés physico-chimiques des substances sont tirées de la base de données en ligne DrugBank (DrugBank, 2023) ainsi que de divers articles notamment pour les *predicted no-effect concentration* (PNEC). Les PNEC sont les concentrations prédites auxquelles aucun effet sur les espèces aquatiques n'est attendu (EMA, 2006). Les posologies des comprimés *per os* sont exprimées pour des adultes avec les doses journalières préconisées par le Compendium. Les solutions en gouttes *per os* ou les préparations en intraveineuse ne sont ici pas prises en compte.

### **2.1.1 Amisulpride**

L'amisulpride est un neuroleptique utilisé pour traiter les schizophrénies. La posologie est de 300 mg 2x/jour avec un maximum de 800 mg/jour, pris indépendamment des repas. Il se prend de manière continue.

### **2.1.2 Clindamycine**

La clindamycine est un antibiotique utilisé pour des infections bactériennes aériennes de type Gram+ (streptocoques, staphylocoques, pneumocoques, etc.). La posologie est de 120 à 600 mg/jour et jusqu'à 1'800 mg/jour pour les infections très sévères. Le traitement dure généralement dix jours, à raison de trois à quatre prises par jour, indépendamment des repas.

### **2.1.3 Metformine**

La metformine est un antidiabétique utilisé dans le traitement du diabète de type 2. La posologie est de 2 à 3 g/jour en monothérapie du diabète type 2. Il se prend pendant ou après les repas en deux à trois prises par jour de manière continue.

### **2.1.4 Métoprolol**

Le métoprolol est un bêtabloquant cardiosélectif utilisé pour traiter l'hypertension, les arythmies, les angines de poitrine, les troubles cardio-vasculaires et pour prévenir les migraines. La posologie dépend grandement de la pathologie traitée, mais se trouve globalement autour de 100 à 200 mg/jour maximum.

### **2.1.5 Paracétamol**

Le paracétamol est un analgésique utilisé pour traiter les douleurs légères à modérées, mais également comme antipyrétique. C'est une substance très consommée par toute la population. La posologie est de 1 g tous les 4h à 8h, avec un maximum de 4 g/jour, indépendamment des repas. D'après la base de données de la consommation des EMS d'Unisanté, il est également utilisé en combinaison avec des opioïdes comme le tramadol pour traiter des douleurs modérées à fortes (code ATC : N02AJ13) dans les EMS vaudois.

### **2.1.6 Propranolol**

Le propranolol est un bêtabloquant non cardiosélectif utilisé pour traiter l'hypertension essentielle, prévenir les infarctus du myocarde, les arythmies ainsi que les symptômes de l'anxiété. La posologie dépend de la pathologie, mais tourne autour de 80 mg 2x/jour avant les repas avec un maximum de 640 mg/jour.

### **2.1.7 Sotalol**

Le sotalol est un bêtabloquant non cardiosélectif utilisé contre les tachyarythmies ventriculaires. La posologie est de 80 mg 2x/jour avant les repas au début du traitement, puis de maximum 320 mg/jour en entretien. La prescription peut monter à 640 mg/jour en cas d'arythmie ventriculaire réfractaire grave.

### **2.1.8 Tramadol**

Le tramadol est un opioïde analgésique utilisé pour les douleurs modérées à fortes. Il peut être utilisé également en combinaison avec le paracétamol (code ATC : N02AJ13).

La posologie est de 100 à 200 mg 2x/j indépendamment des repas. Les doses peuvent dépasser les 400 mg/j dans des cas exceptionnels.

### **2.1.9 Triméthoprim**

Le triméthoprim est un antibiotique à usage systémique utilisé en combinaison avec du sulfaméthoxazole pour traiter un grand nombre d'infections comme les bronchites chroniques, les pneumonies, les otites ou encore le choléra. En deuxième choix, il est utilisé pour le traitement de la fièvre typhoïde, la fièvre paratyphoïde ou les entérites à salmonelles. La posologie est de 1 comprimé 2x/jour après les repas contenant 800 mg de sulfaméthoxazole et 160 mg de triméthoprim. Cela correspond à 320 mg de triméthoprim par jour.

### **2.1.10 Venlafaxine**

La venlafaxine est un antidépresseur utilisé pour traiter et prévenir les récurrences d'épisodes dépressifs, traiter les troubles anxieux généralisés, les troubles paniques ainsi que la phobie sociale. La posologie dépend de la pathologie, mais varie généralement entre 150 et 375 mg 1x/jour avec les repas.

## **2.2 Propriétés physico-chimiques**

Le tableau 1 présente les caractéristiques physico-chimiques des substances étudiées. Le coefficient de partage octanol-eau ( $\log K_{ow}$ ) permet de connaître l'affinité de la substance avec l'eau. Plus la valeur est élevée, plus la substance peut s'adsorber facilement aux composés organiques solides. Il est admis qu'une valeur supérieure à 3 indique une meilleure solubilité dans les solvants non polaires et donc une potentielle bioaccumulation de la substance est possible. Seul le propranolol est concerné avec une valeur à 3.48. Le taux d'excrétion des substances parentes est le taux de rejet par le corps humain après métabolisation des substances non transformées par l'urine et les selles. Les PNEC de l'amisulpride et le sotalol n'ont pas pu être trouvés dans la littérature. Cependant, ces substances ne semblent pas impacter l'environnement aquatique aux concentrations généralement retrouvées (Godoy et al., 2020).

Tableau 1 Paramètres physico-chimiques et PNEC des substances analysées

Nom	Code ATC	Taux d'excrétion	LogK <sub>ow</sub>	PNEC [µg/l]	Sources
Amisulpride	N05AL05	0.25	1.06	-	(DrugBank, 2023)
Clindamycine	J01FF01	0.1	2.16	1	(Booth et al., 2020; DrugBank, 2023)
Metformine	A10BA02	0.9	-2.6	60	(DrugBank, 2023; Helwig et al., 2016)
Métoprolol	C07AB02	0.05	2.15	31	(DrugBank, 2023; Grung et al., 2008)
Paracétamol	N02BE01	0.05	0.46	9.2	(DrugBank, 2023; Grung et al., 2008)
Propranolol	C07AA05	0.09	3.48	0.005	(DrugBank, 2023; Helwig et al., 2016)
Sotalol	C07AA07	0.9	0.85	-	(DrugBank, 2023)
Tramadol	N02AX02	0.3	1.34	0.959	(DrugBank, 2023; Zhou et al., 2019)
Triméthoprim	J01EE01	0.8	0.91	0.5	(Booth et al., 2020; DrugBank, 2023)
Venlafaxine	N06AX16	0.05	2.69	0.013	(DrugBank, 2023; Helwig et al., 2016)

### 3 Zone et cas d'étude

Ce travail se concentre sur le territoire vaudois et sur un bassin versant de STEP avec au moins un établissement médico-social en dehors des centres urbains. Ce chapitre présente le contexte et l'organisation des STEP et EMS dans le canton ainsi que le bassin versant sélectionné.

#### 3.1 Les STEP dans le canton

En 2022, les 152 stations d'épuration vaudoises en service dans le canton ont traité 259'715 m<sup>3</sup> d'eaux usées par jour en moyenne qui ont été épurées à 95%, le reste étant déversé en entrée ou en cours de traitement (Direction générale de l'environnement,

2023). Toujours selon le rapport de l'épuration vaudoise, 849'358 personnes sont raccordées aux installations, représentant 98% de la population.

Si une vingtaine de STEP sont de taille plus grande en zone urbaine (>10'000 EH), 63% des infrastructures sont décentralisées sur le territoire en petites installations ayant une capacité inférieure à 2'000 EH le long de petits et moyens cours d'eau (Direction générale de l'environnement, 2023). La figure 2 montre la répartition des STEP dont la taille varie selon le nombre d'habitants raccordés dans celles-ci. La majorité des STEP utilise le procédé de boues activées en faible charge (86 STEP) ou forte charge (23 STEP). Seule la STEP de Penthaz possède actuellement un traitement quaternaire au charbon actif afin d'épurer les micropolluants. Les autres STEP traitent les micropolluants dans la filière standard avec des taux d'abattement plus ou moins

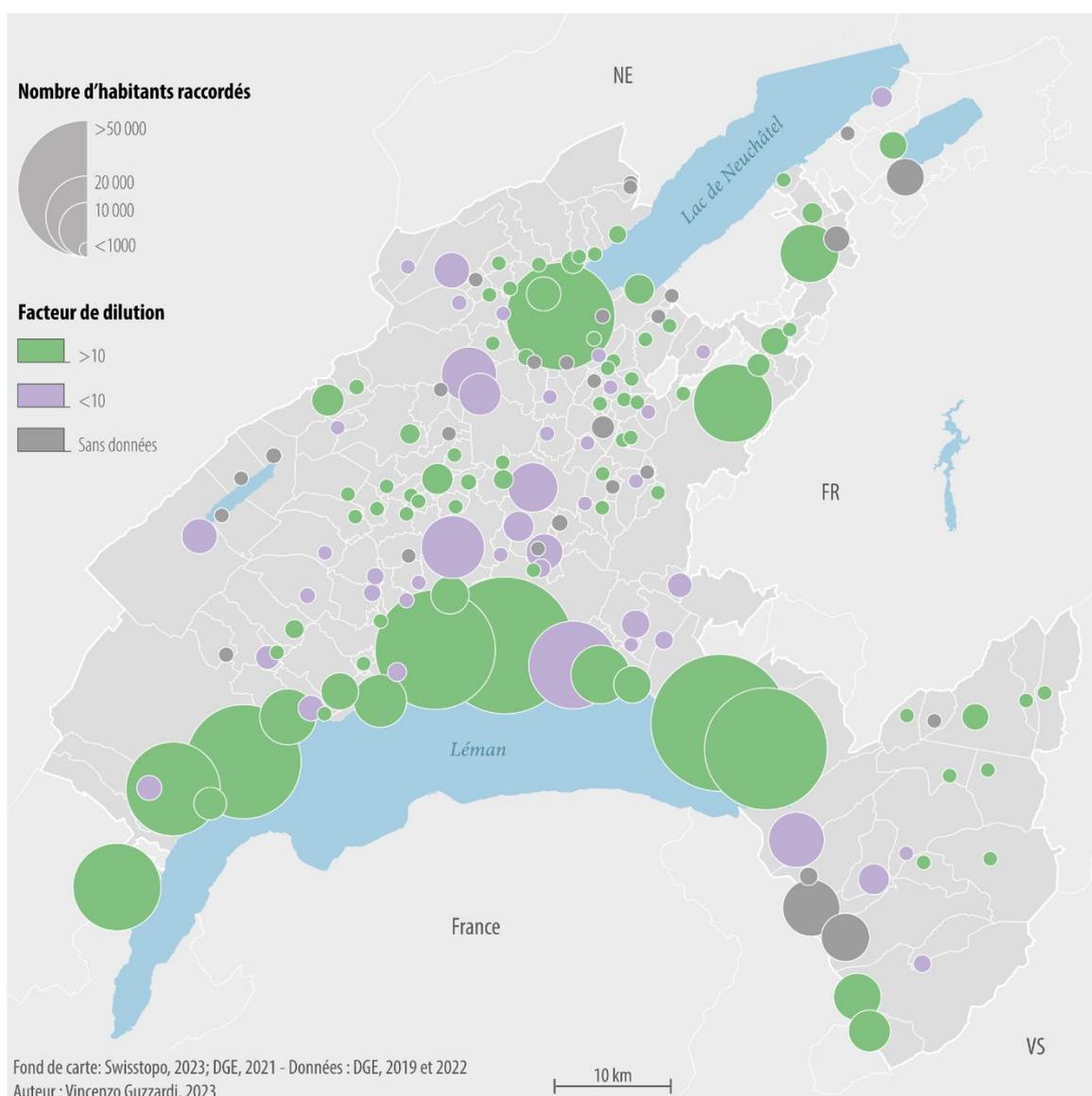


Figure 2 STEP du canton de Vaud par bassins versants de STEP représentant le nombre d'habitants raccordé ainsi que le facteur de dilution dans le milieu naturel

performants, mais qui restent plutôt bas. La majorité des STEP rejette donc une grande partie des substances sans les traiter. Actuellement, plusieurs chantiers sont en cours afin d'équiper certaines STEP d'un procédé quaternaire par exemple à Lausanne ou Yverdon-les-Bains. Selon le rapport de l'épuration vaudoise 2022, 40% des STEP rejettent leurs eaux dans un milieu récepteur à faible débit et ont un facteur de dilution (FD) en dessous de 10 (Direction générale de l'environnement, 2023, p. 24), ce qui est considéré comme défavorable. La figure 2 montre les STEP sur et sous ce seuil. Les infrastructures concernées se trouvent plutôt en campagne, aux abords de petits et moyens cours d'eau. Les facteurs de dilution dans la figure 2 proviennent de l'annexe E3 du rapport de l'épuration vaudoise 2022.

### **3.2 Les EMS dans le canton**

Selon les chiffres de l'Office fédéral de la statistique (OFS), il y a 139 EMS dans le canton en 2021 (OFS, 2022a). Le nombre de ces établissements comprend les structures publiques et privées ainsi que les divisions de lits C<sup>1</sup> dans les hôpitaux. Les établissements ont des missions différentes qui définissent leur spécificité. Certains sont spécialisés dans la prise en charge de personnes en réadaptation et d'autres sont spécialisées en psychogériatrie. Certains établissements sont médicalisés, alors que d'autres n'ont pas vocation à prescrire des soins et traitements. Cette deuxième catégorie est moins intéressante dans le cadre de ce travail, car il n'y a pas de consommation prescrite de médicaments. Les EMS sont repartis dans tout le canton avec une plus forte densité dans les centres urbains, comme on peut le constater dans la figure 3. Si les plus grands établissements se trouvent dans les villes, un certain nombre d'EMS de plus de 50 places sont également situés en dehors des centres urbains, en campagne, ce qui est intéressant en termes d'impact potentiel pour les petits et moyens cours d'eau où la dilution est souvent plus faible.

---

<sup>1</sup> Partie d'un hôpital fonctionnant comme un EMS (OFS, 2022a).

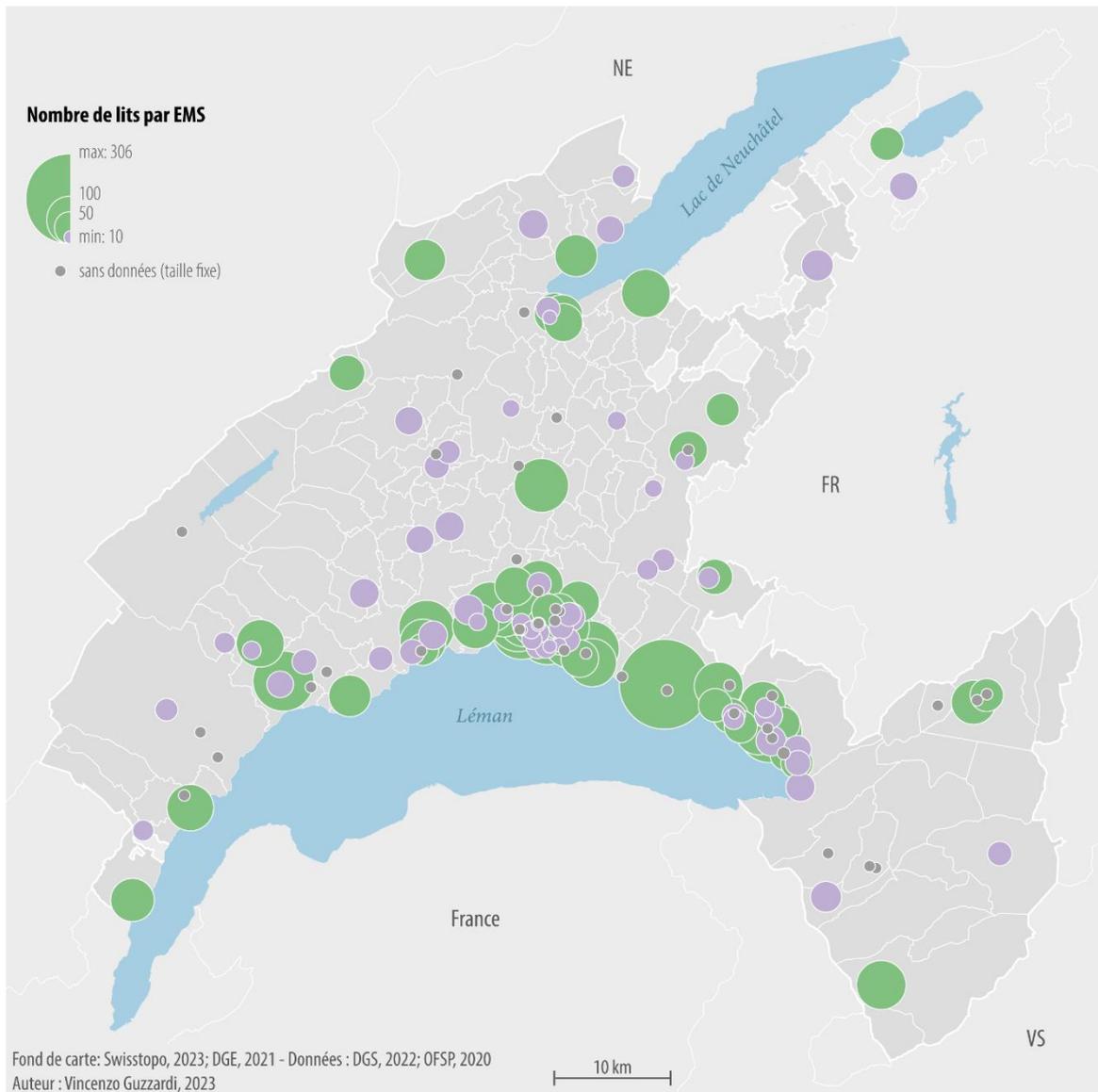


Figure 3 EMS du canton de Vaud par bassins versants de STEP représentés par le nombre de lits. Les EMS ayant moins de 50 places sont en mauve

### 3.3 Caractéristiques du bassin versant sélectionné

Le bassin versant qui sera étudié dans ce travail est celui de la STEP de Gimel qui couvre la commune du même nom. Pour plus d'informations sur le processus de sélection du bassin versant, voir la section 4.1. Ce dernier se trouve dans le district de Morges et s'étend sur une surface de 18.87 km<sup>2</sup>. La STEP de Gimel traite les eaux de 2'387 EH qui sont concentrés sur un peu moins de 6 km<sup>2</sup> (environ 30% de la surface totale), le reste du bassin versant étant de la forêt et des parcelles agricoles. Le réseau d'assainissement est en séparatif à 90% (L. Bolay, communication personnelle, 21 mars 2023) et rejette les eaux claires par différents déversoirs dans le ruisseau de La Saubrette bordant le village. Ce dernier a un débit moyen ( $Q_{347}$ ) de 27 m<sup>3</sup>/s et un FD en sortie de STEP à

l'étiage de 6.6, qui est sous la valeur de référence (Direction générale de l'environnement, 2023).

Concernant le réseau d'évacuation des eaux usées, la figure 4 montre l'emplacement des différents collecteurs et exutoires en cas d'orage, qui sont répartis régulièrement au bord du cours d'eau et dans la STEP.

La STEP de Gimel utilise un procédé expérimental appelé BioCat+ pour améliorer le traitement des micropolluants, en utilisant une culture de microorganisme (J.-D. Chollet, communication personnelle, 4 avril 2023). Selon des tests internes, ce procédé stimule l'activité biologique et montrerait une amélioration du taux d'abattement des micropolluants. Ce procédé introduit dans le décanteur primaire est testé en continu

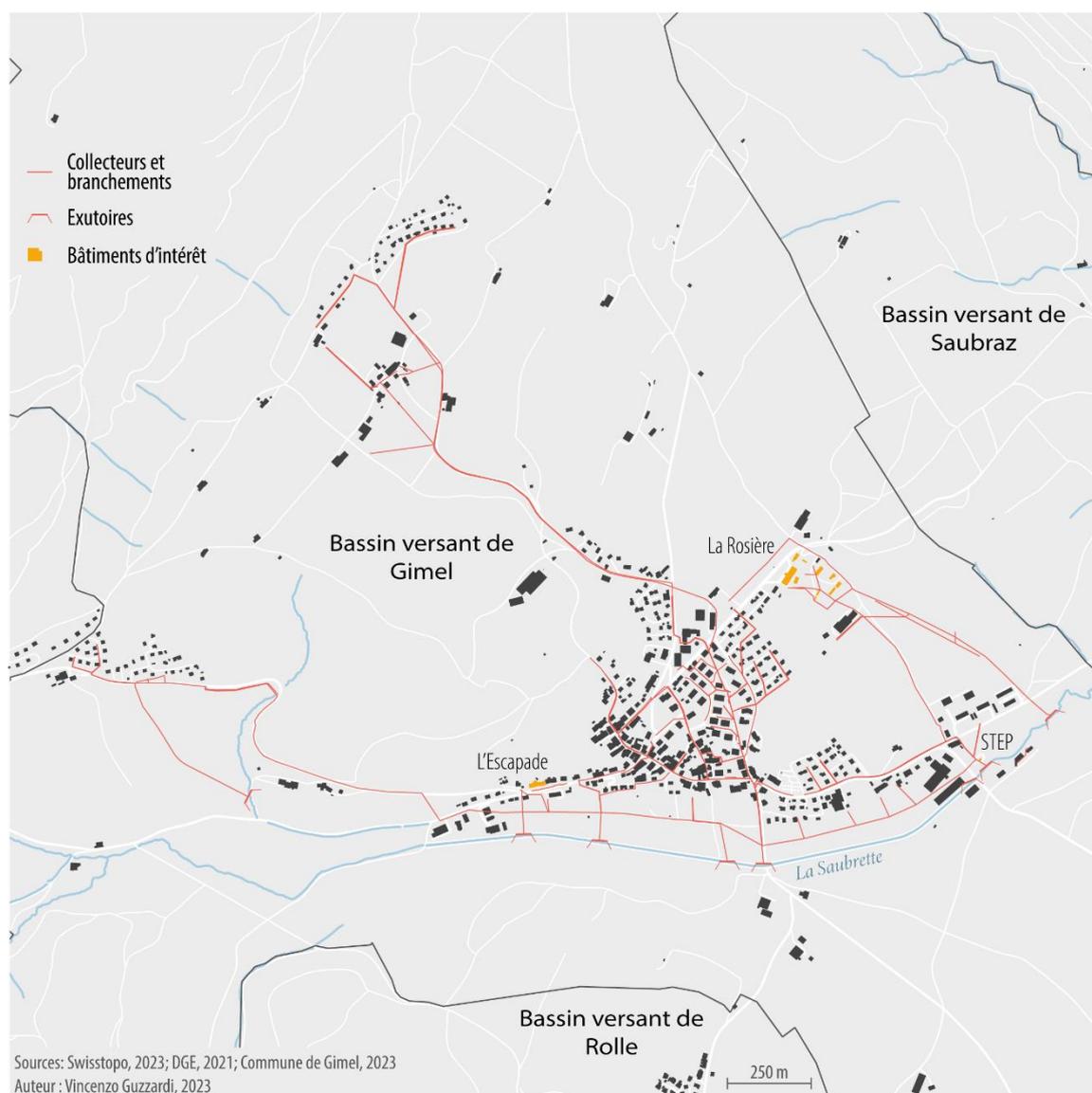


Figure 4 Bassin versant de la STEP de Gimel avec le réseau de l'évacuation des eaux usées et les exutoires. Les bâtiments d'intérêt sont mis en évidence

depuis 2021. Le fonctionnement est présenté dans l'annexe 9.7. Cependant, aucune étude à l'heure actuelle ne démontre son efficacité contre les micropolluants.

En termes de centres de soins, deux EMS (La Rosière et L'Escapade) possédant respectivement 76 et 20 lits (OFS, 2020) sont présents sur le bassin versant de Gimel. Les mesures se concentreront sur La Rosière, car il est plus grand et mieux placé par rapport à la STEP. De plus, sa mission implique une plus grande prescription de médicaments par rapport à L'Escapade. Le complexe des bâtiments de La Rosière est indiqué en orange dans la figure 4. Le plus grand est celui où résident les patients, tandis que les autres sont des locaux administratifs, de stockage ou des garages.

La Rosière accueille en long séjour toutes les personnes ne pouvant plus vivre de manière indépendante à leur domicile (CHUV, 2023). La mission de cet établissement, rattaché au Centre hospitalier universitaire vaudois (CHUV), est de type psychogériatrique et peut accueillir des résidents ayant besoin de soins spécifiques liés à la psychiatrie de l'âge avancé.

## **4 Matériel et méthode**

### **4.1 Critères de sélection du cas d'étude**

Afin de sélectionner un cas d'étude ayant potentiellement le plus d'impact au niveau du bassin versant, ainsi qu'une configuration permettant de mettre en évidence au mieux les rejets de l'EMS, un processus de sélection multicritérielle a été créé sur la base d'une analyse avec un logiciel SIG.

#### **4.1.1 Sources des données**

Les géodonnées des EMS et des hôpitaux proviennent du jeu de données « Institutions médicales et sociales » (*Géodonnée - Institutions médicales et sociales*, 2022). Les couches des STEP et des rejets de ces derniers sont issues du jeu de données « Station d'épuration STEP » (*Géodonnée - Stations d'épuration (STEP)*, 2019). Les géodonnées des bassins versants des STEP du canton de Vaud datant de 2021 ont été gracieusement mises à disposition par le service de l'Épuration urbaine de la division Protection des eaux de l'État de Vaud.

Les données des EMS sont issues des chiffres clés de 2020 de l'Office fédéral de la santé publique (OFSP, 2020). Ce document recense tous les EMS de Suisse avec les

coordonnées des établissements, le nombre de places, les coûts, etc. Concernant les STEP, les données proviennent du bilan de l'épuration vaudoise 2022 (Direction générale de l'environnement, 2023). Les annexes du rapport apportent des informations sur les débits, le nombre de personnes raccordées et les facteurs de dilution entre autres.

#### 4.1.2 Critères de sélection

Les EMS sont classés en trois catégories, selon le nombre de lits traduisant l'importance de l'établissement qui doit être égal ou plus grand que 50 places (Lacorte et al., 2018). Les STEP ont été catégorisées selon le facteur de dilution qui doit être inférieur à 10 (Direction générale de l'environnement, 2022) afin de maximiser l'impact potentiel sur le milieu récepteur. Les bassins versants des STEP ont également été catégorisés selon la présence d'un centre hospitalier et d'EMS. La présence d'hôpitaux ou d'industries pharmaceutiques n'est pas souhaitable, car ceux-ci rejettent également des résidus de médicaments dans les STEP (Chèvre, 2014), ce qui compliquerait la mise en évidence des rejets de l'EMS.

La figure 5 résume les principales étapes de sélection de la pertinence du bassin versant. Les critères sans donnée (na), notamment le nombre de lits dans les EMS et les facteurs de dilution des STEP, sont tout de même considérés comme pertinents afin de faire une analyse plus fine par la suite, au cas par cas.

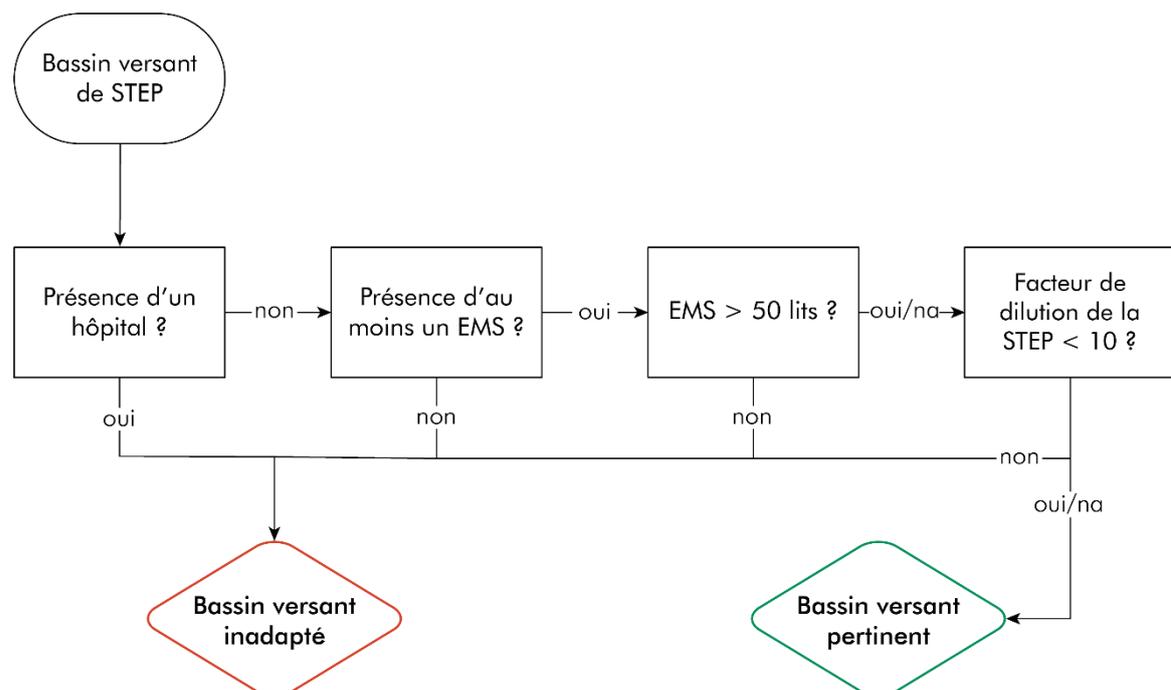


Figure 5 Arbre de décision de la pertinence du bassin versant

Chaque bassin versant retenu a été analysé selon plusieurs critères, comme la morphologie et le contexte du bassin versant ou la situation géographique pouvant compliquer la mise en place de l'échantillonnage afin de départager les établissements au sein de chaque bassin versant et n'en garder plus qu'un. Une fois le bassin versant sélectionné, les différentes personnes concernées ont été contactées (exploitant de STEP, direction de l'EMS, etc.) afin d'évaluer les possibilités de collaboration.

## 4.2 Sites d'échantillonnage

Afin de répondre à la question de recherche sur l'impact des rejets de l'EMS dans la STEP et le milieu naturel, plusieurs échantillons d'eau ont été prélevés en entrée et en sortie de la STEP de Gimel. Des échantillonnages ont également été faits dans les eaux

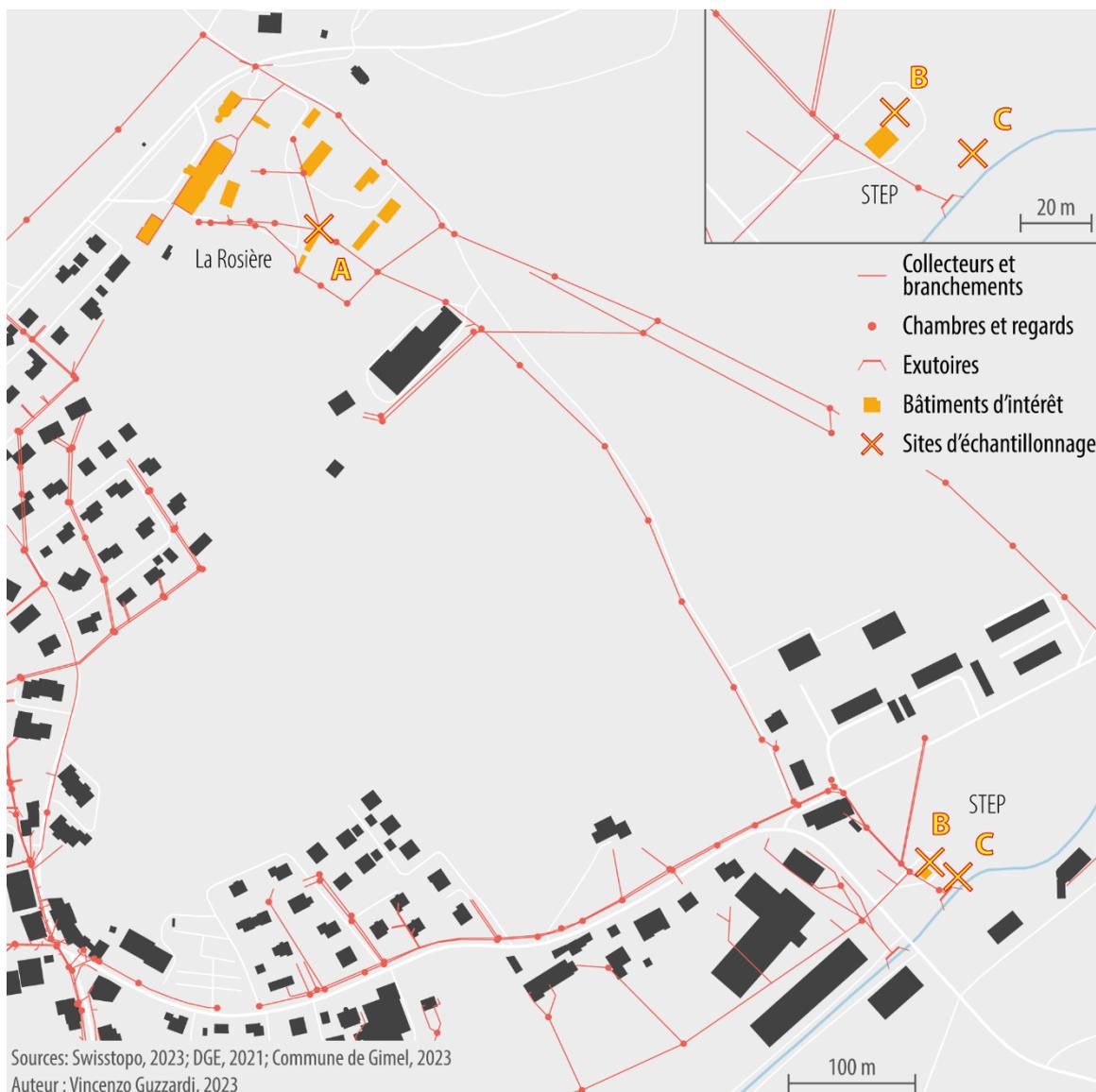


Figure 6 Emplacements des sites d'échantillonnage dans le bassin versant de la STEP de Gimel avec le réseau d'évacuation des eaux usées

usées de l'EMS La Rosière afin de quantifier les médicaments qui en sortent. Ces trois sites ont permis de suivre le devenir des substances, de la consommation en EMS jusque dans le milieu naturel. Les trois sites de mesures sont montrés sur la figure 6. Le plan général d'évacuation des eaux et le milieu récepteur détaillent le contexte du réseau d'évacuation de la commune. Les résidents se trouvent dans le plus gros bâtiment qui est la source principale des rejets. Le point A se situe à la jonction des eaux usées des bâtiments principaux du complexe de l'EMS afin de récolter toutes les eaux de l'EMS. Les eaux usées de l'EMS (site A) renseignent sur les quantités de substances effectivement rejetées par celui-ci, l'entrée en STEP (site B) informe sur les concentrations de la totalité du bassin versant et la sortie de la STEP (site C) permet l'évaluation de ce qui sort réellement de la STEP et donc dans le milieu naturel. Un calcul de dilution a permis d'estimer les concentrations se retrouvant dans le milieu récepteur.

### **4.3 Période et durée d'échantillonnage**

Le nombre total d'échantillons est de 16 réparti de la manière suivante : 3 sur le site A, 7 sur le site B et 6 sur le site C. La campagne de mesure s'est déroulée sur trois semaines comme détaillé dans le tableau 2. Pour le site A, trois échantillons en sortie des eaux usées de l'EMS ont été pris pendant trois jours, de 8h à 20h. Concernant les sites B et C, les échantillons ont été prélevés de 8h à 20h en semaine pendant trois jours, et ce sur deux semaines consécutives afin de représenter la consommation de médicaments en STEP. Un échantillon contrôle les concentrations entre 20h et 8h afin d'estimer les concentrations présentes la nuit arrivant dans la STEP malgré des débits plus faibles. Les échantillons ont été prélevés les mardi, mercredi et jeudi simultanément en entrée et en sortie de STEP. Il est à noter que les eaux entrantes ne correspondent pas aux eaux sortantes au vu des temps de résidence dans les bassins de la STEP. Il faut compter environ 24 heures pour que les eaux transitent dans la STEP, mais cela n'est qu'une moyenne, de nombreux paramètres pouvant modifier le temps de résidence. Le tableau 2 présente les noms des échantillons ainsi que les dates et plages horaires de la collecte.

Le but était d'avoir une bonne représentativité des concentrations aux points d'échantillonnage tout au long de la journée. Les rejets ne sont pas uniformes et il est connu que des pics de concentrations ont lieu selon la dynamique journalière, mais cela dépend des médicaments, du contexte du site et de la population (Chèvre, 2022; Daouk et al., 2016). Cette étude n'ayant pas vocation à définir la dynamique journalière

des rejets, il convenait donc de procéder à des échantillonnages composites sur plusieurs heures afin de couvrir tous les rejets de la journée et ainsi avoir une moyenne journalière des concentrations des substances. Les rejets nocturnes sont supposés négligeables, car l'activité et l'usage des commodités sont moindres, notamment en EMS. Éviter d'échantillonner la nuit limite donc la dilution des concentrations qui pourraient, pour les plus faibles, se retrouver sous la limite de quantification. De plus, les très faibles débits en sortie de l'EMS la nuit auraient difficilement permis à l'échantillonneur de collecter suffisamment d'eau à chaque prise et auraient posé des problèmes techniques.

Tableau 2 Dates et plages horaires de la collecte de chaque échantillon avec les sites correspondants

<b>Date et heure</b>	<b>Site</b>	<b>N° échantillon</b>
<b>Semaine 1</b>		
Mardi 6 juin 2023, 8h-20h	Entrée STEP (B)	B1
	Sortie STEP (C)	C1
Mardi 6 juin 2023, 20h-8h	Entrée STEP (B)	B7
Mercredi 7 juin 2023, 8h-20h	Entrée STEP (B)	B2
	Sortie STEP (C)	C2
Jeudi 8 juin 2023, 8h-20h	Entrée STEP (B)	B3
	Sortie STEP (C)	C3
<b>Semaine 2</b>		
Mardi 13 juin 2023, 8h-20h	Entrée STEP (B)	B4
	Sortie STEP (C)	C4
Mercredi 14 juin 2023, 8h-20h	Entrée STEP (B)	B5
	Sortie STEP (C)	C5
Jeudi 15 juin 2023, 8h-20h	Entrée STEP (B)	B6
	Sortie STEP (C)	C6
<b>Semaine 3</b>		
Mardi 20 juin 2023, 8h-20h	Sortie EMS (A)	A1
Mercredi 21 juin 2023, 8h-20h	Sortie EMS (A)	A2
Jeudi 22 juin 2023, 8h-20h	Sortie EMS (A)	A3

#### **4.4 Matériel et paramétrage**

Afin de procéder à ces mesures, deux échantillonneurs ISCO automatiques (ISCO Avalanche et ISCO 6712) ont été utilisés. Ces équipements ont permis de collecter de l'eau selon un programme automatique défini à l'avance sur un temps plus ou moins long. Les échantillons ont été collectés dans des bouteilles propres aux appareils installés au centre de ceux-ci. Dans le cas de cette étude, les dispositifs ont été

programmés pour pomper 14 ml toutes les 10 minutes, pendant les 12 heures d'échantillonnage sur tous les sites.

Le site A a été installé dans un regard à la sortie des eaux usées des bâtiments de l'EMS. L'ISCO Avalanche qui est réfrigéré à 4°C est utilisé avec deux bouteilles remplies à environ 500 ml chacune pour un total d'un litre par échantillon. Il a fonctionné sur ce site pendant trois jours de 8h à 20h. Le site B en entrée de STEP a été placé juste après le décanteur primaire afin de limiter l'apport de solides qui peuvent se colmater et boucher la crépine. L'échantillonneur a tourné 24h/24h pendant trois jours et deux nuits la première semaine afin de récolter l'échantillon B7. Sur la semaine 2, l'échantillonneur n'a fonctionné que de 8h à 20h. L'ISCO Avalanche a été utilisé et a rempli deux bouteilles à 500 ml chacune pour un échantillon. Le site C a été placé directement dans la canalisation de sortie de la STEP dans un regard. L'ISCO 6712 a été utilisé à défaut de n'avoir qu'un seul modèle Avalanche. Comme il est non réfrigéré, une poche de glace à -80 °C (en sortie de congélateur) a été installée à l'intérieur pour limiter le réchauffement et la dégradation des substances. Cette dernière a été changée presque tous les jours et les bouteilles emmenées en chambre froide entre 24h et 48h maximum après l'échantillonnage. L'impact de dégradation des substances est jugé minime étant donné que les eaux sont traitées en sortie de STEP et donc beaucoup moins biologiquement actives qu'avant traitement (López et al., 2019). L'appareil sur ce site n'a échantillonné que la journée, de 8h à 20h, avec quatre bouteilles remplies à environ 250 ml chacune pour un échantillon.

Pour tous les sites, le volume réel pompé dans les bouteilles était plus élevé que le nombre de ml prévu afin de pallier des variations causées par différents facteurs, par exemple une imprécision dans la longueur du tuyau ou une entrée d'air dans la crépine. Chaque bouteille de l'ISCO d'un même échantillon a été mélangée en proportion égale afin d'être conditionnée dans des bouteilles en verre d'un litre préalablement rincées avec de l'eau déminéralisée, puis par un peu d'eau de l'échantillon. Les bouteilles ont ensuite été stockées en chambre froide avant d'être envoyées en une fois au laboratoire à la fin de la campagne de terrain, soit le 26 juin 2023.

#### **4.5 Laboratoire**

L'analyse a été réalisée par le laboratoire TIBIO, basé à Lausanne, selon le protocole à l'annexe 9.1 (TIBIO, 2023). TIBIO est une entreprise suisse de biotechnologie environnementale. Elle procède notamment à des analyses chimiques et

microbiologiques sur diverses matrices, dans les eaux propres et usées, les sols et les sédiments.

#### 4.5.1 Standards analytiques

Afin de procéder aux analyses, les standards des dix substances sélectionnées ont été commandés chez Sigma-Aldrich ([www.sigmaaldrich.com](http://www.sigmaaldrich.com)) et stockés selon les conditions requises pour chaque substance en attendant d'être apportés au laboratoire en même temps que les échantillons. La liste des standards est présentée dans le tableau 3.

Tableau 3 Liste des standards pour l'analyse des substances

Nom	Référence	Quantité
Acétaminophène (Paracétamol)	P0300000	50 mg
Amisulpride	A0590000	10 mg
Cis-Tramadol hydrochloride solution	T-027-1ML	1 mg (1 mg/ml)
Clindamycine Phosphate	PHR1021-1G	1'000 mg
Metformine hydrochloride	M0605000	50 mg
Métoprolol Tartrate	PHR1076-1G	1'000 mg
Propranolol hydrochloride	PHR1308-1G	1'000 mg
Sotalol hydrochloride	Y0000114	25 mg
Triméthoprim	46984-250MG	250 mg
Venlafaxine hydrochloride	PHR1736-1G	1'000 mg

#### 4.5.2 Conditions analytiques

Les substances ont été analysées avec un système Agilent LC-MS/MS sur une colonne Poroshell EC-C18 120. La méthode utilise deux éluants ; H<sub>2</sub>O – ACN et ACN – H<sub>2</sub>O respectivement en proportion 98:2 pour les deux éluants. Les échantillons ont été introduits dans une boucle d'injection de 100 µl à un débit de 0.3 ml/min. La colonne est restée à 40 °C pour assurer la stabilité analytique pendant les 13 minutes d'analyse.

#### 4.5.3 Préparation des échantillons

Afin de préparer les échantillons, 50 µl de mélange standard SU 10 ppb/100 ppb est ajouté dans un tube de 10 ml. Les échantillons ont été dilués cinq fois, à raison de 2 ml d'échantillon et 10 ml d'eau Évian, puis filtrés avec une seringue et un embout PTFE à 0.45 µm. L'échantillon dilué et filtré a ensuite été transféré dans une fiole pour LC-MS de 1.5 ml et disposé dans l'auto-sampler pour l'analyse.

#### **4.5.4 Contrôle qualité**

Afin de garantir la fiabilité des résultats, un contrôle de la justesse des mesures a été effectué. Pour ce faire, un blanc de méthode par séquence ainsi qu'un échantillon témoin en début et fin de séquence sont exécutés. Un duplicata a été fait tous les dix échantillons ou au minimum une fois par série ainsi qu'un ajout dosé tous les vingt échantillons ou par série. Ces contrôles assurent la validité analytique des données pour le traitement ultérieur de celles-ci.

#### **4.6 Préparation des données**

##### **4.6.1 Données de consommation**

Les données de consommation de L'EMS La Rosière provenant d'Unisanté ont été séparées dans des fichiers distincts et les doublons sommés par années (2018-2021). La moyenne des quatre ans a été utilisée afin d'avoir une consommation représentative des substances utilisées sur plusieurs années et d'éviter de prendre en compte des utilisations exceptionnelles.

##### **4.6.2 Mesure du débit et météorologie**

Les données de mesure horaire du débitmètre fixe à ultrason en entrée de STEP ont été utilisées. Celles-ci ont été transformées pour ne garder que le débit moyen de 8h-12h sur les jours d'échantillonnage et une nuit de 20h-8h pour l'échantillon B7.

Concernant les précipitations, les données de la station au sol de MétéoSuisse de Bière ont été utilisées. Celles-ci ont permis de mettre en évidence une possible dilution par l'eau de ruissellement dans les canalisations et la STEP, ainsi qu'une perte dans les déversoirs d'orage le cas échéant. Les données de la température moyenne journalière conventionnelle (6 UTC à 6 UTC) ont également été utilisées pour évaluer les conditions météorologiques lors des mesures.

##### **4.6.3 Mesure des concentrations**

Les concentrations des dix médicaments ont été mises en forme pour être utilisées avec les autres tableaux et analysées. Les duplicatas du contrôle qualité ont été supprimés et seule la valeur la plus élevée a été retenue pour les analyses. Pour les besoins du traitement des données, les valeurs sous le seuil de détection ont été considérées comme étant égales à zéro dans les analyses et figures. En effet, toutes les valeurs doivent être de type numérique afin d'être exploitables.

## 4.7 Analyse des données

### 4.7.1 Conversion des concentrations en charges

Afin de comparer les masses entre les sites ainsi que calculer des proportions, les concentrations ont été converties en charge en multipliant par le débit du site correspondant. Les charges sont calculées selon l'équation 1 pour chaque substance en mg pour les sites B et C en STEP. Le débit est mesuré par le système fixe de la STEP situé juste après le décanteur primaire, proche du point de mesure.

$$Charge_{ij} = \frac{Conc_{ij}}{1000} * Q_{STEP_j} * 1000 \quad (1)$$

- $Charge_{ij}$  [mg] est la charge de la substance i de l'échantillon j
- $Conc_{ij}$  [ $\mu\text{g/l}$ ] est la concentration de la substance i de l'échantillon j
- $Q_{STEP_j}$  [ $\text{m}^3/12\text{h}$ ] est le débit en entrée de STEP durant l'échantillon j

Le débit n'ayant pas pu être mesuré dans les eaux usées de l'EMS, le calcul de la charge pour le site A en sortie de l'EMS s'appuie sur une simulation du débit de sortie selon la consommation d'eau de chaque résident présenté dans l'équation 2. Une consommation journalière de 250 l/jour est supposée pour chaque résident.

$$Charge_{ij} = \frac{Conc_{ij}}{1000} * (W_{conso} * N_{rés}) \quad (2)$$

- $Charge_{ij}$  [mg] est la charge de la substance i de l'échantillon j
- $Conc_{ij}$  [ $\mu\text{g/l}$ ] est la concentration de la substance i de l'échantillon j
- $W_{conso}$  [l/jour/rés] est la consommation d'eau journalière de chaque résident (ici 250)
- $N_{rés}$  est le nombre de résidents dans l'établissement (ici 76)

Les maximums, minimums, moyennes, médianes et écarts-types des charges pour chaque substance par site sont insérés dans un tableau pour la suite des analyses.

### 4.7.2 Prédiction des concentrations issues des EMS

Afin de calculer les différentes concentrations prédites (PEC) pour chaque substance en sortie de l'EMS, les recommandations de l'Agence européenne de médecine (EMA) pour calculer les PEC sont utilisées (EMA, 2006). Le calcul est une adaptation de l'étude de Lacorte et al. (2018), elle-même adaptée du calcul des PEC de l'EMA. En effet, une part non négligeable de résidents en EMS ont des couches d'incontinence, ce qui diminue l'apport dans les eaux usées et surestime donc les PEC (Lacorte et al., 2018). Dans le cas de La Rosière, le nombre de résidents bénéficiant de protections hygiéniques ne peut pas être établi précisément, mais une estimation de 25% peut être

faite selon les données à disposition de l'EMS. L'équation 3 présente la  $PEC_{EMS}$  selon les spécificités détaillées plus haut.

$$PEC_{EMS_i} = \frac{M_{conso_i} * F_{excr_i} * (1 - F_{pads})}{W_{conso} * N_{rés}} * 1000 \quad (3)$$

- $PEC_{EMS_i}$  [ $\mu\text{g}/\text{l}$ ] est la concentration prédite en sortie d'EMS pour chaque substance i
- $M_{conso_i}$  [ $\text{mg}/\text{jour}$ ] est la consommation de chaque substance i
- $F_{excr_i}$  [0-1] est le facteur d'excrétion des substances parentes i
- $F_{pads}$  [0-1] est la proportion de patients ayant des couches d'incontinence (ici 0.25)
- $W_{conso}$  [ $\text{l}/\text{jour}/\text{rés}$ ] est la consommation d'eau journalière de chaque résident (ici 250)
- $N_{rés}$  est le nombre de résidents dans l'établissement (ici 76)

La  $PEC_{EMS}$  des résidus de médicaments issus de La Rosière en entrée de STEP peut être décrite avec l'équation 4. Celle-ci reprend la  $PEC_{EMS}$  en le diluant avec le débit moyen journalier de la STEP mesuré pendant la période d'échantillonnage.

$$PEC_{STEP_i} = \frac{PEC_{EMS_i} * W_{conso} * N_{rés}}{Q_{STEP}} \quad (4)$$

- $PEC_{STEP_i}$  [ $\mu\text{g}/\text{l}$ ] est la concentration prédite de chaque substance i issue de l'EMS dans la STEP
- $PEC_{EMS_i}$  [ $\mu\text{g}/\text{l}$ ] est la concentration prédite calculée dans l'équation 3
- $W_{conso}$  [ $\text{l}/\text{j}/\text{rés}$ ] est la consommation d'eau journalière de chaque résident (ici 250)
- $N_{rés}$  est le nombre de résidents dans l'établissement (ici 76)
- $Q_{STEP}$  [ $\text{l}/\text{j}$ ] est le débit moyen journalier en entrée de STEP pendant la période de mesure

La PEC dans le milieu récepteur des substances issues de La Rosière est calculée dans l'équation 5 en reprenant la  $PEC_{STEP}$  en le divisant par le FD tiré du rapport de l'épuration vaudoise de 2022. Le calcul pose le postulat que la STEP ne traite aucune substance étant donné que les taux d'abattement réels ne sont pas connus.

$$PEC_{MR_i} = \frac{PEC_{STEP_i}}{FD} \quad (5)$$

- $PEC_{MR_i}$  [ $\mu\text{g}/\text{l}$ ] est la concentration prédite de chaque substance i dans le milieu récepteur en temps sec
- $PEC_{STEP_i}$  [ $\mu\text{g}/\text{l}$ ] est la concentration prédite de chaque substance i issue de l'EMS dans la STEP
- $FD$  [0-1] est le facteur de dilution du rejet de la STEP dans le milieu récepteur (ici 6.6)

### 4.7.3 Comparaison des concentrations en entrée et sortie de STEP

Afin de définir la quantité abattue dans la STEP entre les échantillons d'entrée et de sortie, la différence entre les charges moyennes du site B et C (équation 1) est calculée dans l'équation 6.

$$Taux\ abatement = \frac{Charge_{site\ B_i} - Charge_{site\ C_i}}{Charge_{site\ B_i}} \quad (6)$$

- *Taux abatement* est le taux de chaque substance *i* épurée en STEP
- $Charge_{site\ B_i}$  [mg] est la charge du site B pour chaque substance *i*
- $Charge_{site\ C_i}$  [mg] est la charge du site C pour chaque substance *i*

Étant donné que le temps de résidence variable des eaux dans la STEP n'est pas connu, plusieurs scénarios sont calculés selon différentes configurations de concentrations. Le calcul a donc été fait avec la charge maximum en entrée et minimum en sortie et inversement afin de représenter les deux cas extrêmes.

### 4.7.4 Proportion de l'EMS en entrée et sortie de STEP

Afin de calculer la contribution des rejets de l'EMS dans les eaux du bassin versant, l'équation 7 est utilisée. Les charges sont les résultats calculés dans les équations 1 et 2.

$$Proportion_i = \frac{Charge_{i_{EMS}}}{Charge_{i_{STEP}}} \quad (7)$$

- $Proportion_i$  [0-1] est le facteur de charge de la substance *i* attribuée à l'EMS dans la charge totale en entrée de STEP
- $Charge_{i_{EMS}}$  [mg] est la charge de la substance *i* issue de l'EMS
- $Charge_{i_{STEP}}$  [mg] est la charge de la substance *i* issue du bassin versant total entrant en STEP

Afin de représenter la proportion maximale, la charge maximum en EMS et minimum en STEP a été utilisée et inversement pour le cas minimum. Cela permet d'estimer la proportion de l'EMS entre les extrêmes.

Comme pour le calcul de charge, il est considéré que le débit entre l'entrée de la STEP et la sortie est le même et que les substances issues de l'EMS et du reste du bassin versant ont les mêmes propriétés physico-chimiques. De ce fait, la proportion calculée en entrée est la même en sortie de STEP et dans le milieu naturel.

Ayant les données de vente des mois de mai à juin 2023 de la pharmacie de Gimel de trois substances (metformine, métoprolol et propranolol) à la population et l'EMS, la proportion calculée dans l'équation 7 et les ventes peuvent être comparées. Les masses

totales des substances sont calculées d'après le nombre de boîtes vendues. Une estimation des ordres de grandeur peut être faite avec les proportions calculées d'après les échantillons.

#### 4.7.5 Évaluation du risque dans le milieu naturel

Afin d'évaluer la PEC par substance issue des mesures, la concentration en sortie de la STEP (site C) est diluée par le facteur de dilution en temps sec des eaux dans le milieu récepteur selon l'équation 8.

$$PEC_{rejets} = \frac{Conc_{siteC_i}}{FD} \quad (8)$$

- $PEC_{rejets}$  [ $\mu\text{g/l}$ ] est la concentration prédite de la substance  $i$  dans le milieu naturel issu des eaux de STEP en aval de celle-ci
- $Conc_{siteC_i}$  [ $\mu\text{g/l}$ ] est la concentration de chaque substance  $i$  en sortie de STEP
- $FD$  est le facteur de dilution du rejet de la STEP dans le milieu récepteur (ici 6.6)

L'évaluation du risque pour le milieu naturel utilise donc le quotient de risque (QR) qui est calculé dans l'équation 9 reprenant la  $PEC_{rejets}$  et la PNEC selon les informations dans la littérature. Ces dernières sont listées dans le tableau 1. Si le QR est supérieur à 1, la substance en question est susceptible de comporter un risque important pour l'environnement.

$$QR_i = \frac{PEC_i}{PNEC_i} \quad (9)$$

- $QR_i$  est le quotient de risque de chaque substance  $i$  dans le milieu récepteur
- $PEC_i$  [ $\mu\text{g/l}$ ] est la concentration prédite de chaque substance  $i$  dans le milieu récepteur par temps sec
- $PNEC_i$  [ $\mu\text{g/l}$ ] est la concentration sans effet attendu de chaque substance  $i$

La concentration de chaque substance est issue de la PEC de l'échantillon (équation 8) et la PEC basée sur la consommation des EMS (équation 5). Le calcul a donc été fait deux fois avec des valeurs de PEC différentes.

Afin d'évaluer la contribution de l'EMS dans le QR de la  $PEC_{rejets}$ , la proportion calculée à l'équation 7 a été soustraite de la  $PEC_{rejets}$  et le QR a à nouveau été fait. La valeur a ensuite été comparée avec les QR calculés à partir des PEC basées sur la consommation.

## 5 Résultats

### 5.1 Consommations des médicaments à La Rosière

La consommation moyenne totale dans l'EMS de La Rosière entre 2018 et 2021 est de 130 kg par année. Cela correspond à environ 1.7 kg par résident par année ou 4.6 g par jour. L'annexe 9.3 liste les principes actifs consommés à La Rosière. Pour des raisons de confidentialité, les masses des substances ne sont pas affichées. Le macrogol<sup>2</sup> (associé à la classe A) représente à lui seul 38% de la consommation totale annuelle de La Rosière. Il a donc été retiré du total afin d'obtenir une meilleure représentation des proportions. La consommation totale passe alors à 80 kg par année sans le macrogol. La figure 7 montre les proportions consommées sans le laxatif selon la classification *Anatomical Therapeutic Chemical* (ATC). L'annexe 9.2 détaille la signification de chaque lettre de la classification ATC. Une majorité des médicaments consommés correspondent à la catégorie N, avec 35.2%, qui est relative au système nerveux. Cette catégorie regroupe les antidouleurs comme le paracétamol et tramadol, mais aussi les

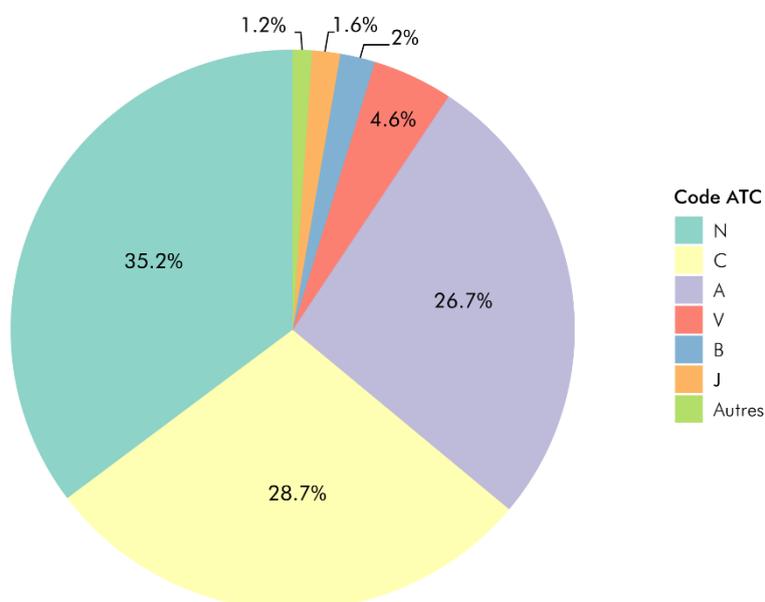


Figure 7 Proportion moyenne annuelle des catégories ATC consommées à La Rosière entre 2018 et 2021 sans le macrogol

<sup>2</sup> Le macrogol est un laxatif osmotique utilisé pour traiter la constipation. Il est également utilisé, associé à d'autres composés, pour la préparation de l'intestin à des interventions chirurgicales (Compendium, 2023).

antidépresseurs comme la venlafaxine ou le sédatif clométhiazole<sup>3</sup> qui sont beaucoup consommés. La catégorie C qui regroupe les médicaments du système cardiovasculaire est consommée à 28.7%. Celle-ci concerne des médicaments comme les bêtabloquants sotalol ou métoprolol ainsi que d'autres substances agissant sur les vaisseaux sanguins. La classe A, représentant 26.7%, concerne les médicaments agissant au niveau du système digestif et du métabolisme, comme les laxatifs, ou les antidiabétiques à l'instar de la metformine. Les autres catégories font partie des médicaments divers (4.6%), du sang et organes hématopoïétiques (2%) et anti-infectieux (1.6%). Les 1.2% restant concernent les autres catégories inférieures à 1%.

## 5.2 Fréquence de détection des mesures

Neuf substances ont été détectées au-dessus de la limite de quantification (LQ) dans au moins deux sites de mesure. Le tableau 4 présente le nombre d'échantillons dans lesquels un médicament a été détecté. La valeur de la LQ de chaque substance est détaillée dans la colonne correspondante.

Tableau 4 Nombre d'échantillons ayant détecté une substance. N = nombre d'échantillons par site

<b>Substance</b>	<b>LQ [ng/l]</b>	<b>Site A (N=3)</b>	<b>Site B (N=7)</b>	<b>Site C (N=6)</b>
Amisulpride	20	< LQ	7	6
Clindamycine	20	< LQ	< LQ	< LQ
Metformine	10	3	7	6
Métoprolol	10	3	7	6
Paracétamol	50	3	7	< LQ
Propranolol	10	3	7	6
Sotalol	10	3	7	6
Tramadol	10	3	7	6
Triméthoprim	10	3	7	6
Venlafaxine	50	< LQ	7	6

La clindamycine n'a pas été détectée sur les trois sites, ce qui suggère que la substance n'a pas été consommée dans le bassin versant durant les mesures. Dans le site A, l'amisulpride et la venlafaxine n'ont pas non plus été détectés. Le paracétamol est sous la LQ pour le site C en sortie de STEP.

<sup>3</sup> Le clométhiazole est un sédatif, hypnotique et relaxant musculaire. Il est souvent utilisé pour traiter les problèmes de sommeil (Compendium, 2023).

L'annexe 9.4 présente les concentrations brutes de chaque échantillon. L'annexe 9.5 détaille les moyennes, médianes, minimums et maximums des concentrations de chaque site pour chaque substance.

### 5.3 Rejets de l'EMS

#### 5.3.1 Concentrations en sortie de l'EMS

La figure 8 présente les concentrations des substances pour chaque échantillon du site A dans les rejets de La Rosière. Comme vu dans le tableau 4, l'amisulpride, la clindamycine et la venlafaxine n'ont pas été détectés et sont donc absent de la figure. Les ordres de grandeur vont de  $10^{-2}$  µg/l pour le propranolol, le tramadol et le triméthoprimé à  $10^2$  µg/l pour la metformine.

Plusieurs substances présentent une forte variation entre les échantillons. La metformine varie de plus de 400 µg/l entre l'échantillon A1 et A3, allant de 174 µg/l à 645 µg/l. Le paracétamol varie d'environ 35 µg/l entre l'échantillon A2 et A3. Les autres substances suivent globalement la même tendance avec quelques variations qui reste de l'ordre de quelques µg/l. Il n'y a pas de tendance commune entre les variations de concentrations des substances qui pourrait être expliquée par une dilution par exemple.

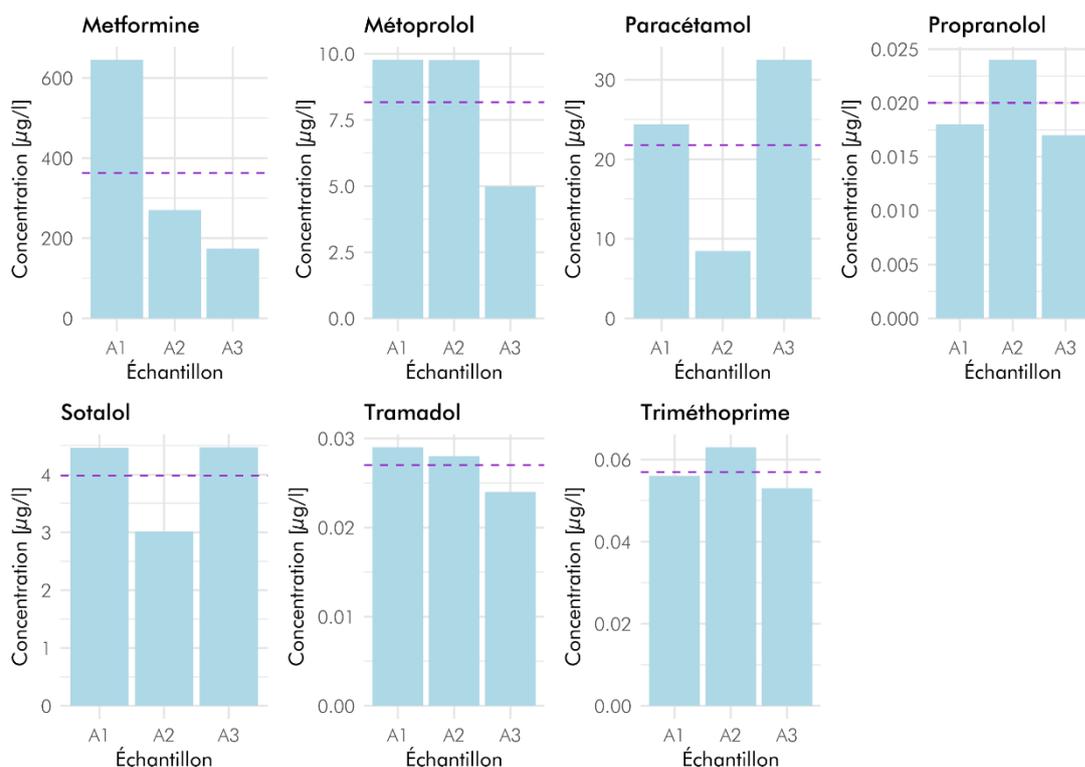


Figure 8 Concentrations des échantillons du site A de chaque substance. La moyenne des échantillons est en violet traitillé.

### 5.3.2 Comparaison entre les concentrations prédites et les mesures

Le ratio entre les PEC<sub>EMS</sub> basées sur la consommation annuelle de 2018 à 2021 et la moyenne des concentrations mesurées est présenté dans la figure 9. Si certaines substances suivent le même ordre de grandeur, d'autres ne correspondent pas aux mesures à l'instar du triméthoprim et du tramadol qui sont 80 à 100 fois plus élevés dans la PEC<sub>EMS</sub> que dans les mesures. Il est intéressant de constater que la clindamycine et la venlafaxine sont consommées dans l'EMS, mais ne sont pas retrouvées dans les effluents. Ils présentent toutefois une PEC<sub>EMS</sub> de respectivement 0.36 et 0.064 µg/l. Le paracétamol est 7 fois plus élevé dans les simulations que les mesures. Le métoprolol est en revanche sous-évalué dans les concentrations prédites d'environ 6 points. Globalement, les PEC<sub>EMS</sub> montrent des concentrations proches des mesures pour la majorité des substances, mais ce n'est pas toujours le cas.

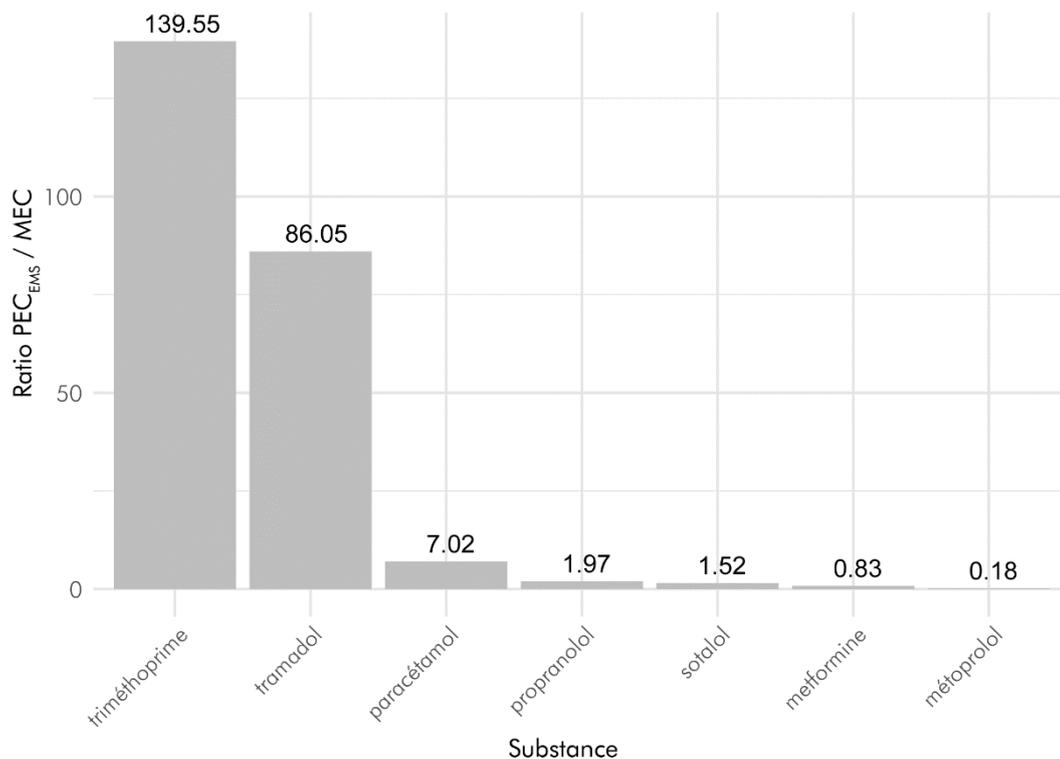


Figure 9 Rapport entre les concentrations prédites (PEC) et les mesures des échantillons (MEC)

## 5.4 Entrée et sortie de STEP

### 5.4.1 Concentrations en entrée

Les concentrations mesurées en entrée de STEP sont détaillées sur la figure 10. C'est le site où le plus de substances ont été détectées, avec seulement une substance sous la LQ qui est la clindamycine comme c'est le cas pour les autres sites. C'est également le

site où les plus hautes concentrations ont été mesurées. Les ordres de grandeur vont de  $10^{-2}$  µg/l pour le propranolol à  $10^2$  µg/l pour la metformine et le paracétamol.

Comme pour le site A, la metformine varie le plus, mais avec une différence de 79 µg/l entre l'échantillon B1 et B3, suivie du paracétamol qui présente une différence de 66.7 µg/l entre l'échantillon B2 et B6. Concernant l'amisulpride, les concentrations sont également variables avec une concentration maximale (B5) trois fois plus grande que la minimale (B1). Les autres substances tournent autour de moins de 1 µg/l autour de la moyenne.

Pour rappel, l'échantillon B7 a été pris la nuit entre les échantillons B1 et B2. Celui-ci est en dessous de la moyenne pour plusieurs substances comme l'amisulpride, la metformine, le sotalol, le tramadol et le triméthoprim. En revanche, certaines substances sont au-dessus de la moyenne la nuit à l'instar du métoprolol, du paracétamol, du propranolol et de la venlafaxine. La concentration du B7 n'est pas spécialement plus basse que d'autres échantillons, comme cela peut être constaté pour l'amisulpride qui est à 1.63 µg/l en B1 et 1.68 µg/l en B7.

Il n'y a pas de tendance visible entre les mêmes jours de la semaine mesurée dans cette étude. Les concentrations varient de manière non synchronisée entre les échantillons et les substances.

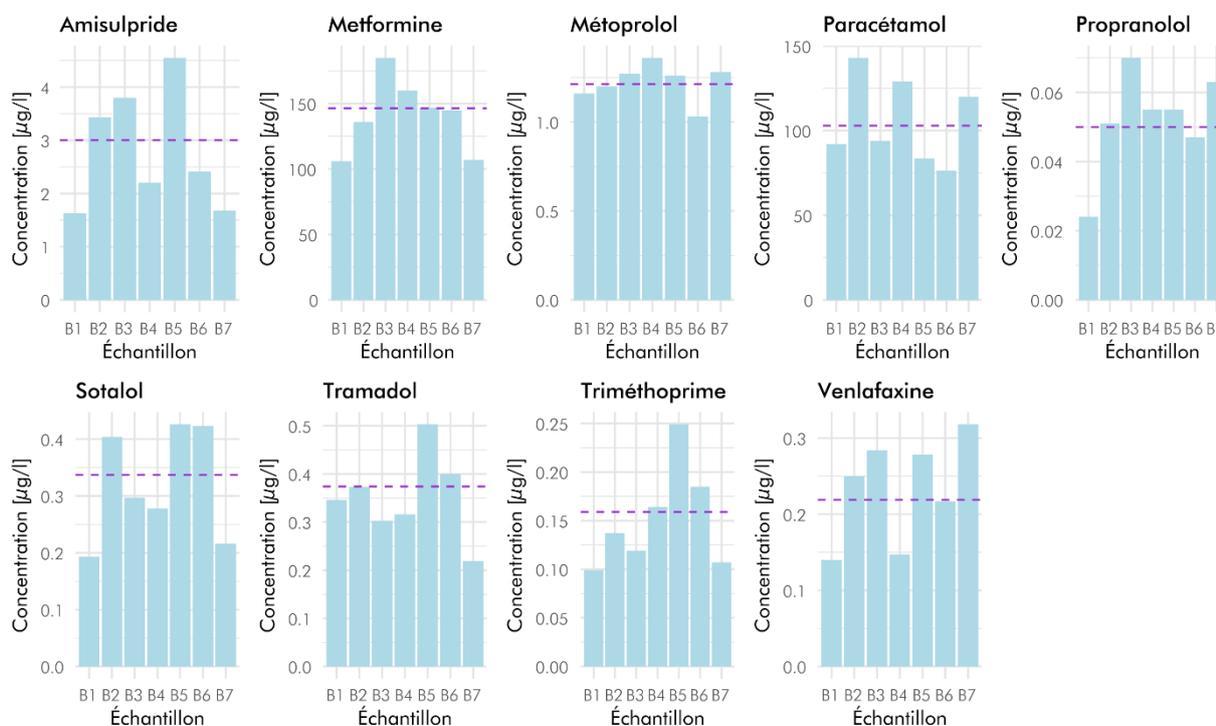


Figure 10 Concentrations des échantillons du site B de chaque substance. La moyenne des échantillons est en violet traitillé

## 5.4.2 Concentrations en sortie

La figure 11 présente les concentrations mesurées pour le site C. Ces dernières sont les plus basses mesurées entre les sites, elles sont comprises entre  $10^{-2}$   $\mu\text{g/l}$  pour le propranolol et 1  $\mu\text{g/l}$  pour l'amisulpride et la metformine. Outre la clindamycine absente sur tous les sites, le paracétamol est également sous la LQ dans ce site pour tous les échantillons.

Contrairement aux deux autres sites, les échantillons du site C varient avec une moins grande amplitude. En effet, la metformine présente toujours la plus forte variation avec une différence de 4.63  $\mu\text{g/l}$  entre la concentration minimale (C2) et maximale (C6). Les autres substances ont une amplitude de moins de 1  $\mu\text{g/l}$  autour de la moyenne. L'amisulpride montre tout de même des variations 0.5  $\mu\text{g/l}$ , ce qui est plus élevé que les autres substances tournant autour de 0.1  $\mu\text{g/l}$  ou moins.

Comme pour le site B, il n'y a pas de tendance entre les jours de la semaine qui se démarquent.

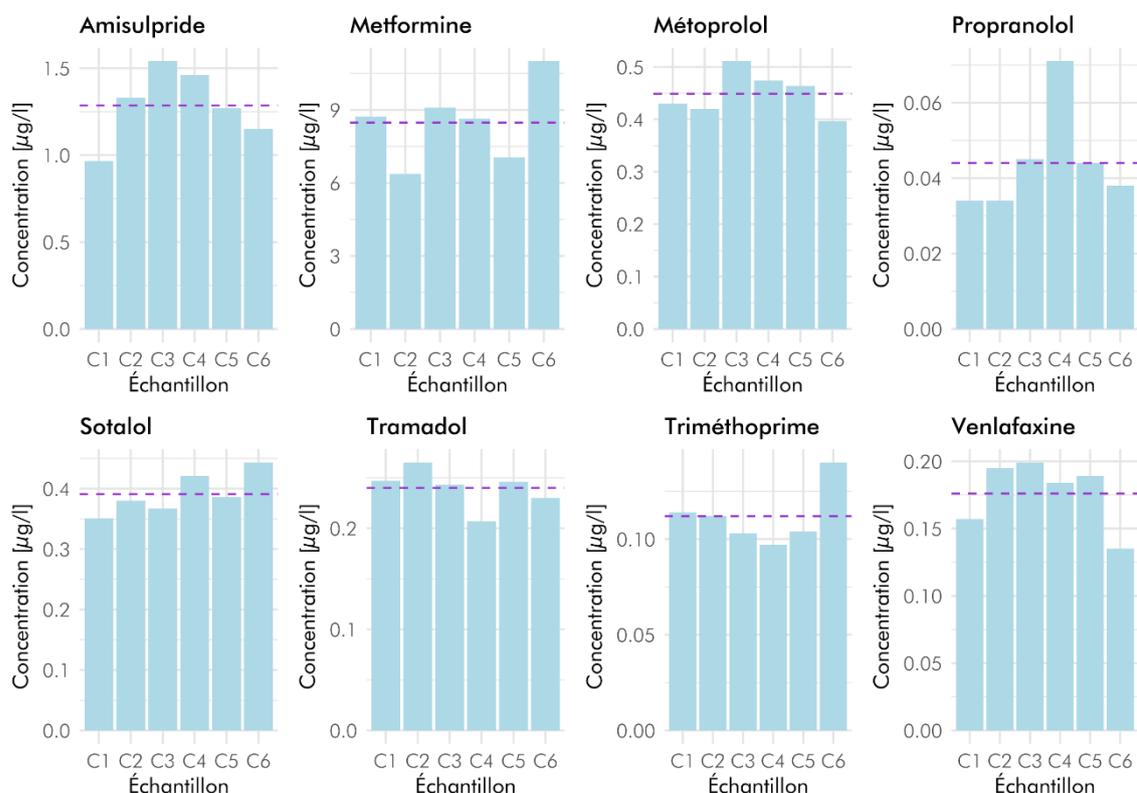


Figure 11 Concentrations des échantillons du site C de chaque substance. La moyenne des échantillons est en violet traitillé

### 5.4.3 Comparaison entre les entrées et sorties

Les taux d'abattement mesurés dans le cadre de ce travail sont présentés dans la figure 12. Les entrées et sorties de STEP ont été comparées selon l'équation 6. L'efficacité du traitement est très variable selon la substance. Le paracétamol est épuré sous forme parente à 100% pour tous les échantillons alors que le sotalol se retrouve souvent en plus grande quantité en sortie. Excepté pour la metformine, le paracétamol et le métoprolol, toutes les substances ont un taux d'abattement minimum sous les 50%. La valeur moyenne tombe sous les 25% pour le propranolol, le sotalol, le triméthoprim et la venlafaxine. Les valeurs minimums dans le négatif peuvent être expliquées par le calcul prenant le minimum en entrée et en sortie. Le temps de résidence en STEP ne permet donc pas un calcul en temps réel de l'abattement.

Ces chiffres sont à prendre avec précaution, car il faut de plus amples mesures sur un temps plus long pour acquérir un taux d'abattement robuste. Cependant, ces données permettent de donner un ordre de grandeur sur l'efficacité du traitement de la STEP de Gimel sur les substances analysées.

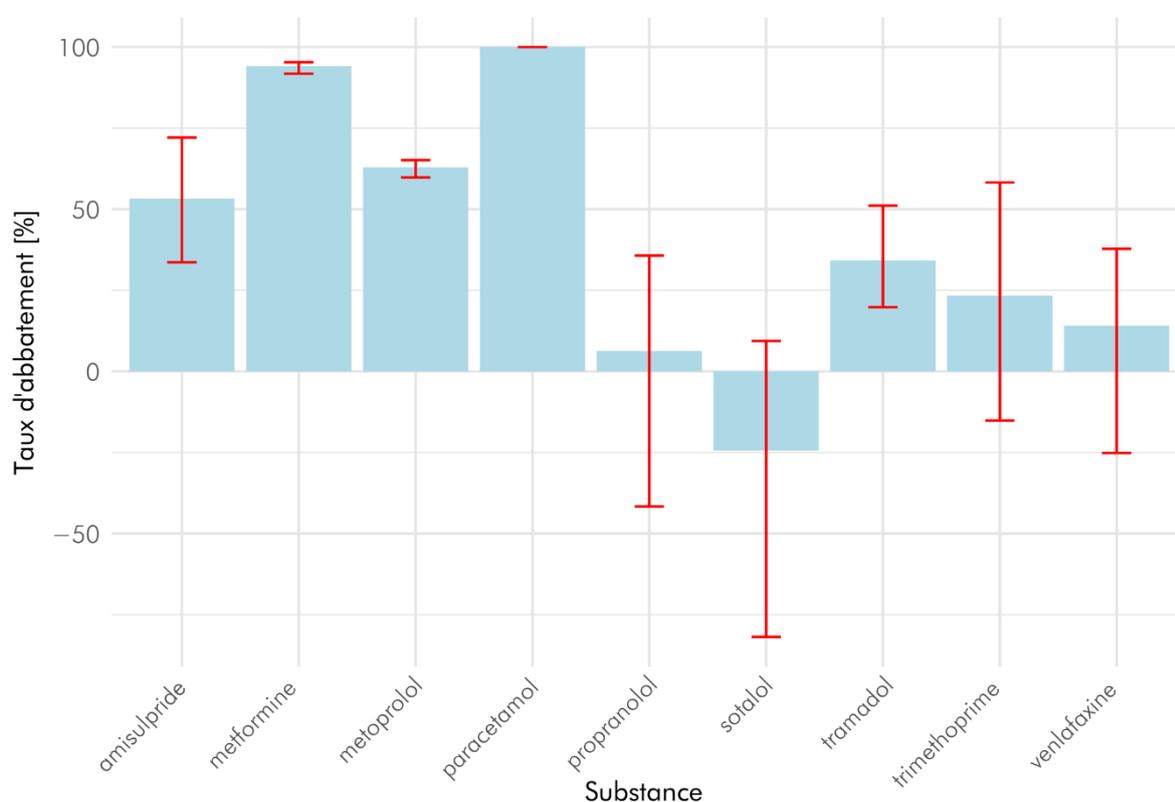


Figure 12 Taux d'abattement moyen des substances avec les minimums et maximums

## 5.5 Comparaison entre les sites

### 5.5.1 Météo

Afin de comparer chaque substance entre les sites, il faut transformer les concentrations en charge (équations 1 et 2). La dilution étant un facteur important pour transformer les concentrations en charge, il convient d'analyser la pluviométrie pendant les mesures. La figure 13 montre les données météorologiques de la station au sol de Bière (2.7 km de Gimel) de MétéoSuisse (MétéoSuisse, 2023). Le temps était généralement sec (<1mm/jour) à l'exception du 22 juin, qui cumule 14.1 mm de pluie. L'analyse horaire indique que la majorité des précipitations sont tombées entre 16h et 23h. Le temps court des précipitations et le réseau étant en séparatif, il n'y a pas de dilution visible dans les données.

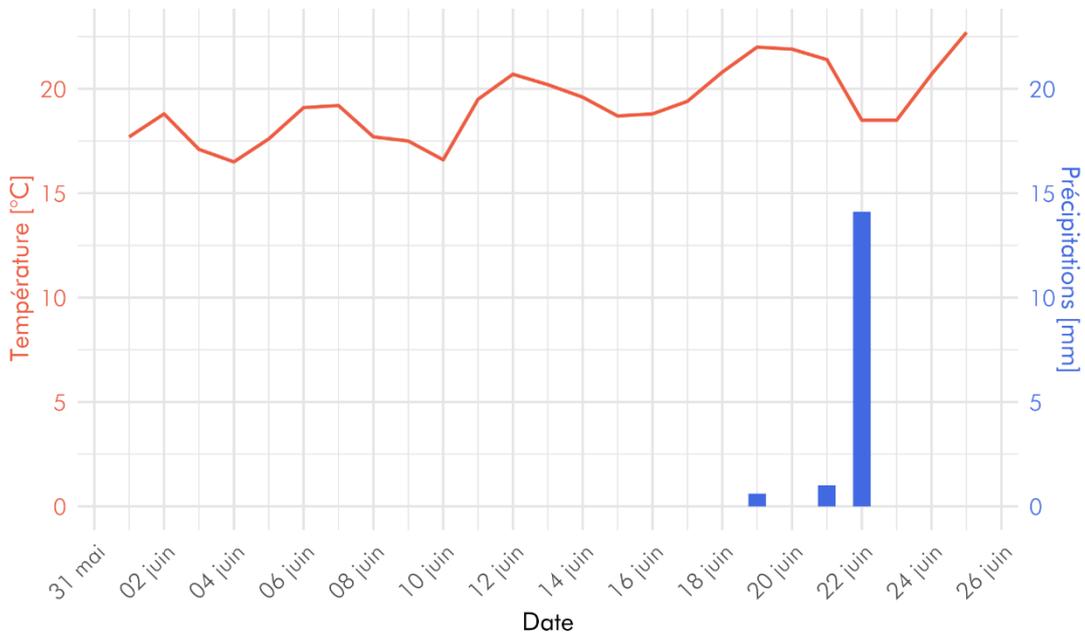


Figure 13 Température et pluviométrie de la station de Bière pendant la période d'échantillonnage

### 5.5.2 Débit en entrée de STEP

Les volumes en entrée de STEP utilisés pour les concentrations des sites B et C sont indiqués sur la figure 14. Les valeurs de 8h à 20h ont une moyenne de 257.4 m<sup>3</sup>/12h et un écart-type de 40.3. Les débits de 20h à 8h sont plus faibles avec une moyenne de 142.2 m<sup>3</sup>/12h et un écart-type de 21.01. Le samedi 10 juin, un pic de 386 m<sup>3</sup>/12h a été enregistré. Une analyse plus fine des débits horaires montre un débit exceptionnel de 116.9 m<sup>3</sup>/h à 12h00, alors que les autres jours, le volume vers 12h00 varie autour de 20 m<sup>3</sup>/h. Les échantillons ne sont pas affectés par ce pic, étant donné qu'il n'y avait pas de mesure à ce moment.

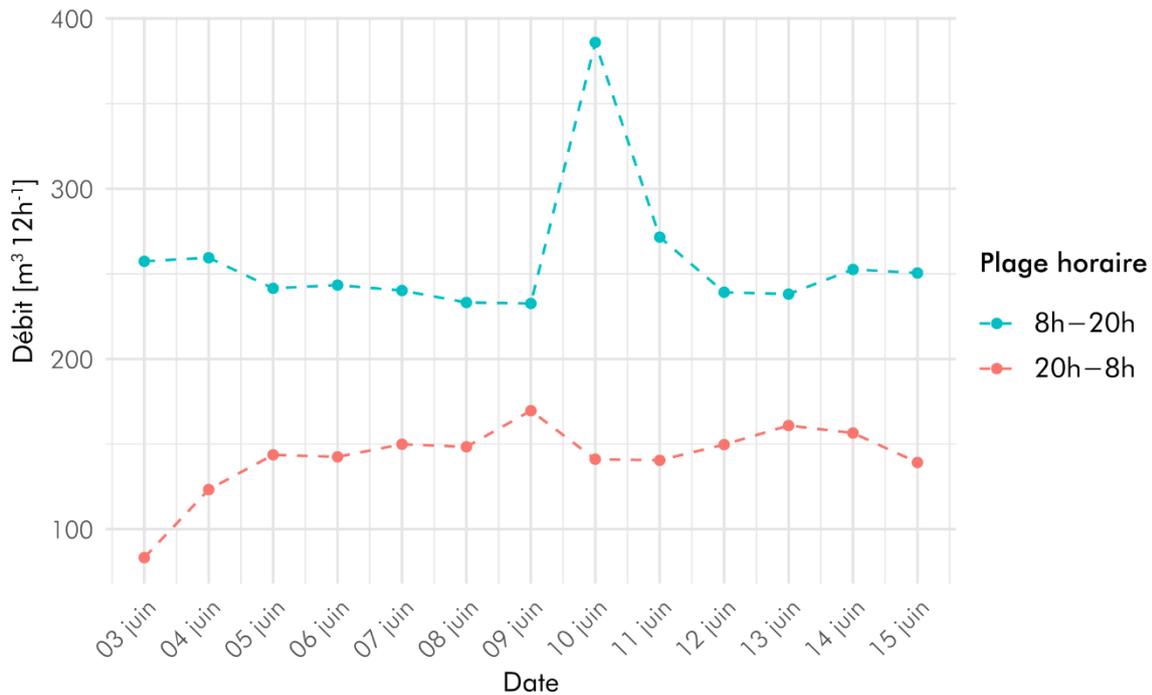


Figure 14 Volumes en entrée de STEP par 12h pendant la période d'échantillonnage

### 5.5.3 Charges des échantillons

La figure 15 montre les charges par jour des substances pour chaque site. Les données de consommation par jour sont également indiquées afin de visualiser toutes les étapes du patient à la sortie de la STEP. Les barres représentent les moyennes avec la variation des minimums et maximums des échantillons. Comme on peut l'attendre, l'amisulpride, qui n'est pas consommée en EMS, ne se retrouve pas dans les effluents de La Rosière. Cependant, d'autres substances sont consommées, mais ne sont pas présentes dans les effluents à l'instar de la clindamycine et la venlafaxine. Les masses des substances suivent généralement bien les apports de charges entre l'EMS et le milieu naturel. En effet, les masses des consommations sont supérieures à celles des rejets de l'EMS qui sont elles-mêmes inférieures aux masses en entrée de STEP. La charge en entrée de STEP est généralement supérieure à celle de sortie.

Cependant, quelques substances ne suivent pas cette observation. En effet, la metformine présente une charge au site A supérieure à la consommation calculée pour une partie des échantillons. De plus, le sotalol est mesuré à des charges égales ou supérieur en sortie de l'EMS qu'en entrée de STEP. Les mesures n'ayant pas été prises en même temps, une variation des charges est possible et ne représente donc pas le devenir des substances en direct. Toujours concernant le sotalol, le point en sortie de STEP mesure de plus grands volumes qu'en entrée de STEP, ce qui suggère une

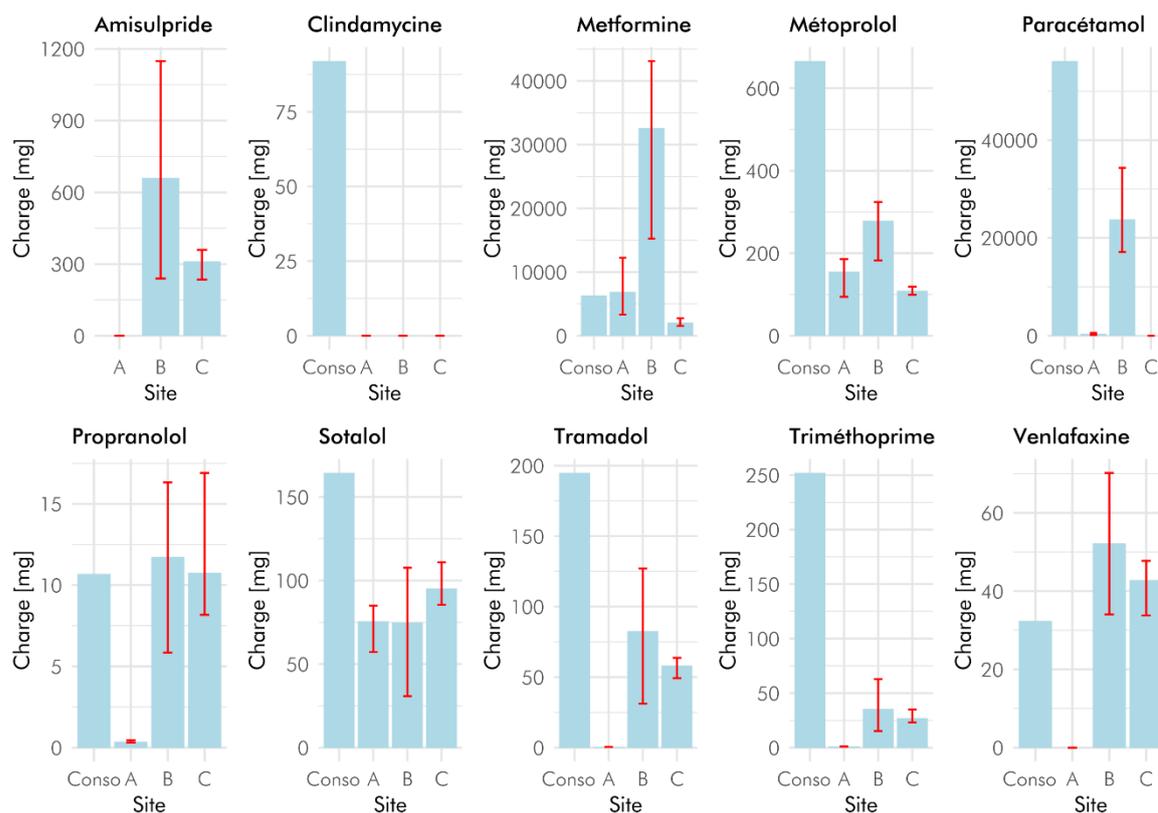


Figure 15 Charge de chaque site de chaque substance avec la consommation journalière augmentation de la substance parente pendant le traitement. Les valeurs minimums et maximums du site C peuvent être plus élevées que celles du site B, cela montre que les concentrations peuvent varier et que le temps de résidence en STEP ne permet pas une analyse précise de l'abattement avec ces données.

## 5.6 Rejets en rivière et évaluation du risque

### 5.6.1 Part de l'EMS dans les rejets de la STEP

Afin de déterminer la proportion de l'EMS arrivant dans la STEP, les charges en sortie de l'EMS et en entrée de STEP sont utilisées selon l'équation 7. La figure 16 montre les proportions calculées pour chaque substance basée sur les concentrations maximums en sortie de l'EMS et minimums en entrée de STEP afin de prendre le scénario où la proportion de l'EMS est la plus forte. Dans un deuxième cas, l'inverse est calculé afin de faire ressortir le cas où la proportion de l'EMS est la plus faible. Ces extrêmes sont représentés par les barres rouges. La proportion moyenne est représentée par le point noir. Le métoprolol et le sotalol ont présenté des valeurs maximums en sortie d'EMS plus élevée que les valeurs minimums en entrée de STEP. Les proportions de respectivement 102% et 275% ont été plafonnées à 100%. Les mesures n'ayant pas été

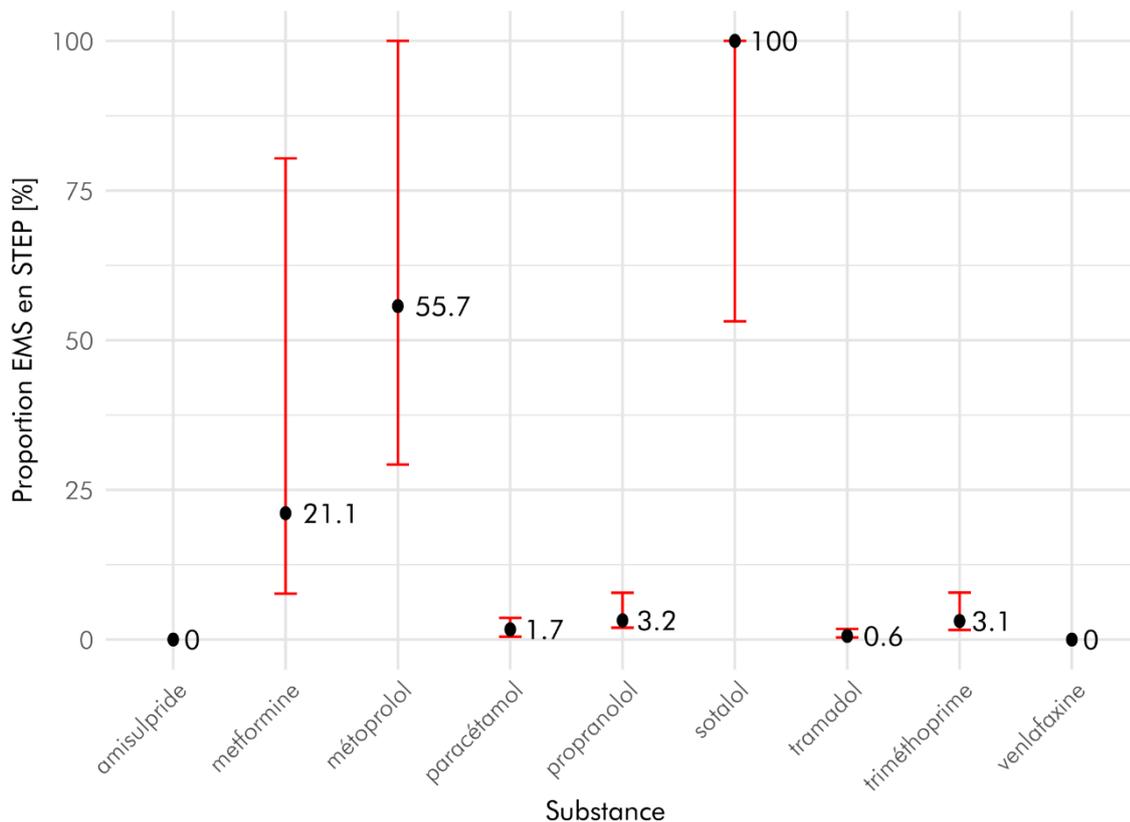


Figure 16 Pourcentage des rejets de l'EMS en entrée de STEP

prises en même temps, il n'est pas surprenant que les concentrations mesurées au site A soient plus élevées que celle du site B au moment des mesures. L'amisulpride et la venlafaxine, n'ayant pas été détecté dans les effluents de l'EMS sur le site A, les proportions sont nulles.

Trois substances ressortent du lot, la metformine, le métoprolol et le sotalol avec un pourcentage entre 80% et 100% pour les valeurs maximales. Cependant, malgré une valeur maximum élevée, la metformine retombe à 21% pour la valeur moyenne. À l'inverse, le sotalol monte à 101.1% (sans le seuil) même avec la valeur moyenne. Les autres substances ne dépassent pas les 10% pour les valeurs maximales.

Il est considéré que ce pourcentage reste similaire tout au long du processus de traitement et donc que les mêmes proportions sont retrouvées dans le milieu naturel.

### 5.6.2 PEC d'après les mesures au site C

Comme il n'a pas été possible de directement mesurer les concentrations des substances en rivière, les concentrations du site C en sortie de STEP ont été divisées par le facteur de dilution de la STEP comme détaillé dans l'équation 8. La figure 17 présente les PEC en rivière de chaque échantillon qui sont appelés P. Les concentrations

attribuées à l'EMS sont en orange et le reste est en vert. Pour chaque substance, les cas minimum et maximum de la proportion de l'EMS sont représentés.

Les ordres de grandeur varient entre  $10^{-3}$   $\mu\text{g/l}$  pour le propranolol et  $1 \mu\text{g/l}$  pour la metformine. La majorité des substances se retrouvent dans l'ordre de  $10^{-2}$   $\mu\text{g/l}$ . Les variations entre les substances sont de même amplitude que les concentrations mesurées sur le site C comme le même facteur de dilution a été appliqué à tous les échantillons. La metformine représente également la concentration la plus élevée issue de l'EMS dans la rivière, avec des valeurs autour de  $1.2 \mu\text{g/l}$ . La part de l'EMS dans la rivière se monte plutôt au  $\text{ng/l}$  pour le reste des substances. La part du sotalol est la proportion la plus élevée tant dans le cas minimum que maximum.



Figure 17 PEC dans le milieu récepteur d'après les mesures en sortie de STEP avec les proportions min et max de l'EMS

### 5.6.3 Comparaison de la part de l'EMS et la PEC de consommation

La figure 18 présente le rapport entre les PEC de La Rosière issues des consommations ( $PEC_{\text{conso}}$ ) ainsi que les PEC de la part de l'EMS calculé depuis le site C en sortie de STEP ( $PEC_{\text{rejets}}$ ). La plus grande différence entre les deux types de PEC est le triméthoprième avec une  $PEC_{\text{conso}}$  68 fois plus grande que la  $PEC_{\text{rejets}}$ . Le tramadol arrive deuxième avec un ratio de 40.4. Les autres substances présentent des valeurs plus proches entre 0.2 et 2.5. La metformine a une  $PEC_{\text{conso}}$  deux fois plus grande que celle des rejets alors que la  $PEC_{\text{conso}}$  du métoprolol est quant à elle deux fois plus petite que la  $PEC_{\text{rejets}}$ .

Concernant la clindamycine et la venlafaxine, celles-ci n'ayant pas été mesurées dans les rejets de l'EMS, la part de La Rosière est nulle. Les  $PEC_{\text{conso}}$  présentent tout de même des concentrations attendues entre 1 et 4 ng/l. La  $PEC_{\text{conso}}$  du paracétamol a une valeur de 1'241 ng/l, mais il n'a pas été détecté en sortie de STEP, qui passe la part de l'EMS de facto à zéro. Les PEC attribués à l'EMS suivent globalement les mêmes ordres de grandeur qu'elles soient basées sur la consommation ou les mesures en sortie de STEP.

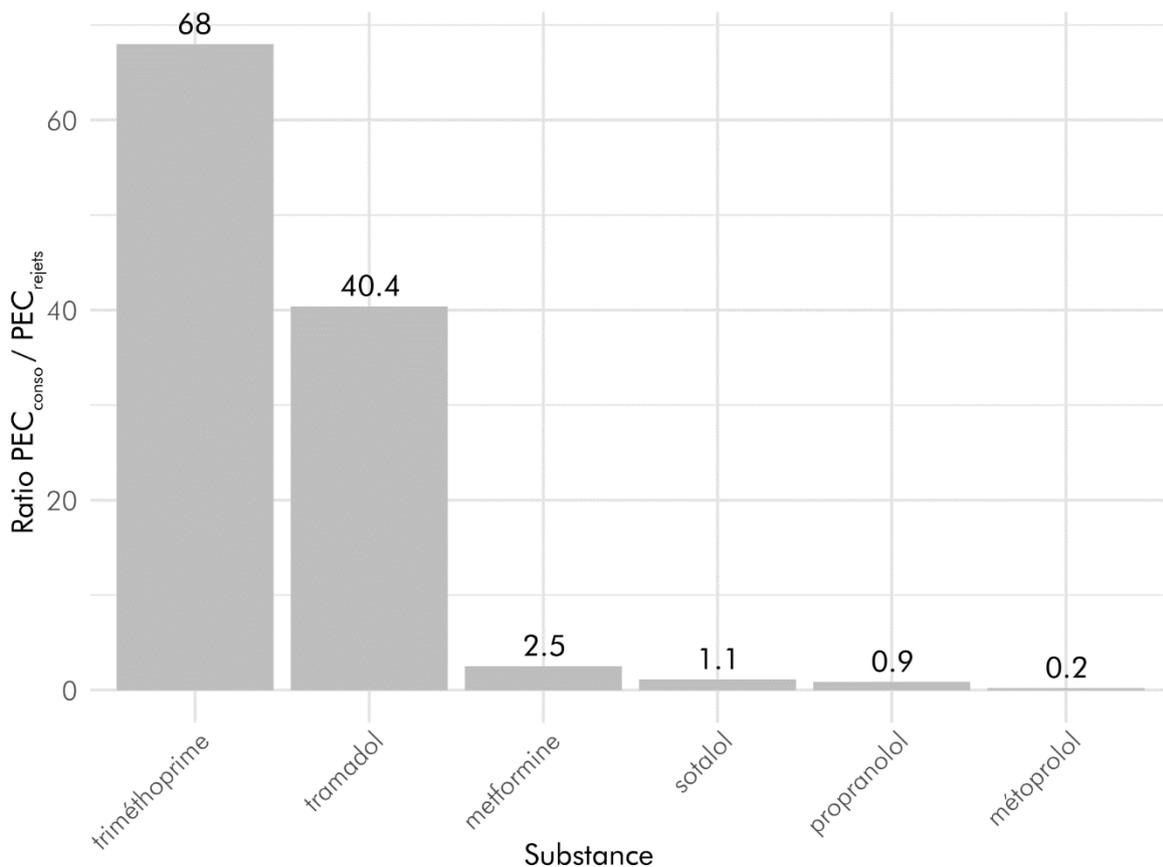


Figure 18 Ratio entre les  $PEC_{\text{conso}}$  et  $PEC_{\text{rejets}}$

#### 5.6.4 Quotient de risque des PEC

Le quotient de risque (QR) de la PEC issue des mesures du site C (équation 9) est présenté dans la figure 19. Les groupes de points représentent les QR des PEC de chaque échantillon dans la rivière. Les substances ayant un QR au-dessus de 1 sont considérées comme posant un risque important pour l'environnement. Celles avec un QR entre 0.1 et 1 sont considérées comme présentant un risque moyen. Celles en dessous de 0.1 présentent un risque faible (Daouk et al., 2016). Afin de mieux représenter les valeurs, il est important de noter que l'axe Y est logarithmique.

Le propranolol et la venlafaxine sont au-dessus de 1 pour tous les échantillons, avec un maximum à 2.3. Cela signifie que toutes les PEC sont au-dessus de la PNEC, ce qui est considéré comme un risque important. Toutes les autres substances sont au-dessous de 0.1, indiquant un risque faible. Le métoprolol est le plus faible avec un QR de 0.002.

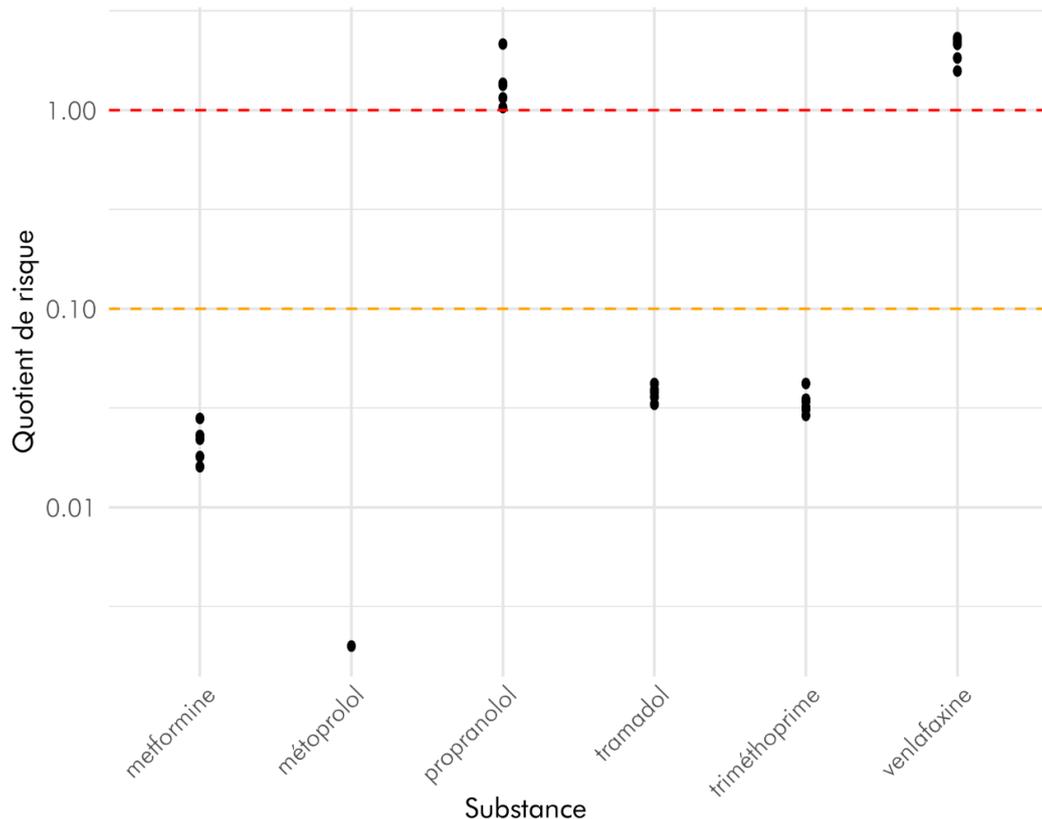


Figure 19 Quotient de risque des PEC<sub>rejets</sub>. Les QR>1 signifie un risque important, 1>QR>0.1 est un risque moyen et QR<0.1, un risque faible

Concernant le risque propre aux effluents de l'EMS, les QR attribués aux rejets de La Rosière sont montrés dans la figure 20. Les points noirs décrivent les QR calculés sur la base de la proportion maximale de l'EMS dans les rejets et les triangles rouges représentent les QR des PEC basées sur la consommation en EMS.

Les QR de la part de l'EMS dans le rejet de la STEP sont majoritairement proches de zéro. Seul le propranolol est autour de 0.1 avec un peu moins de la moitié des valeurs au-dessus du seuil ainsi que la metformine autour de 0.018, ce qui reste faible. Les QR calculés sur la base de la consommation de l'EMS sont globalement plus élevés que ceux des rejets de STEP pour une partie des substances. La clindamycine qui n'a pas été mesurée en sortie de l'EMS présente tout de même un faible risque au niveau de la  $PEC_{conso}$ . Le paracétamol montre un risque moyen pour la  $PEC_{conso}$ , cependant il n'a pas été mesuré en sortie de STEP d'où le risque à zéro pour la  $PEC_{rejets}$ . Le triméthoprim est la substance avec la plus grande différence entre les deux QR. En effet, les valeurs vont de  $10^{-3}$  pour le QR des rejets de STEP à 0.18 pour le QR de consommation. Globalement, les QR basés sur la consommation sont plutôt surévalués par rapport à ce qui est calculé depuis les rejets de la STEP.

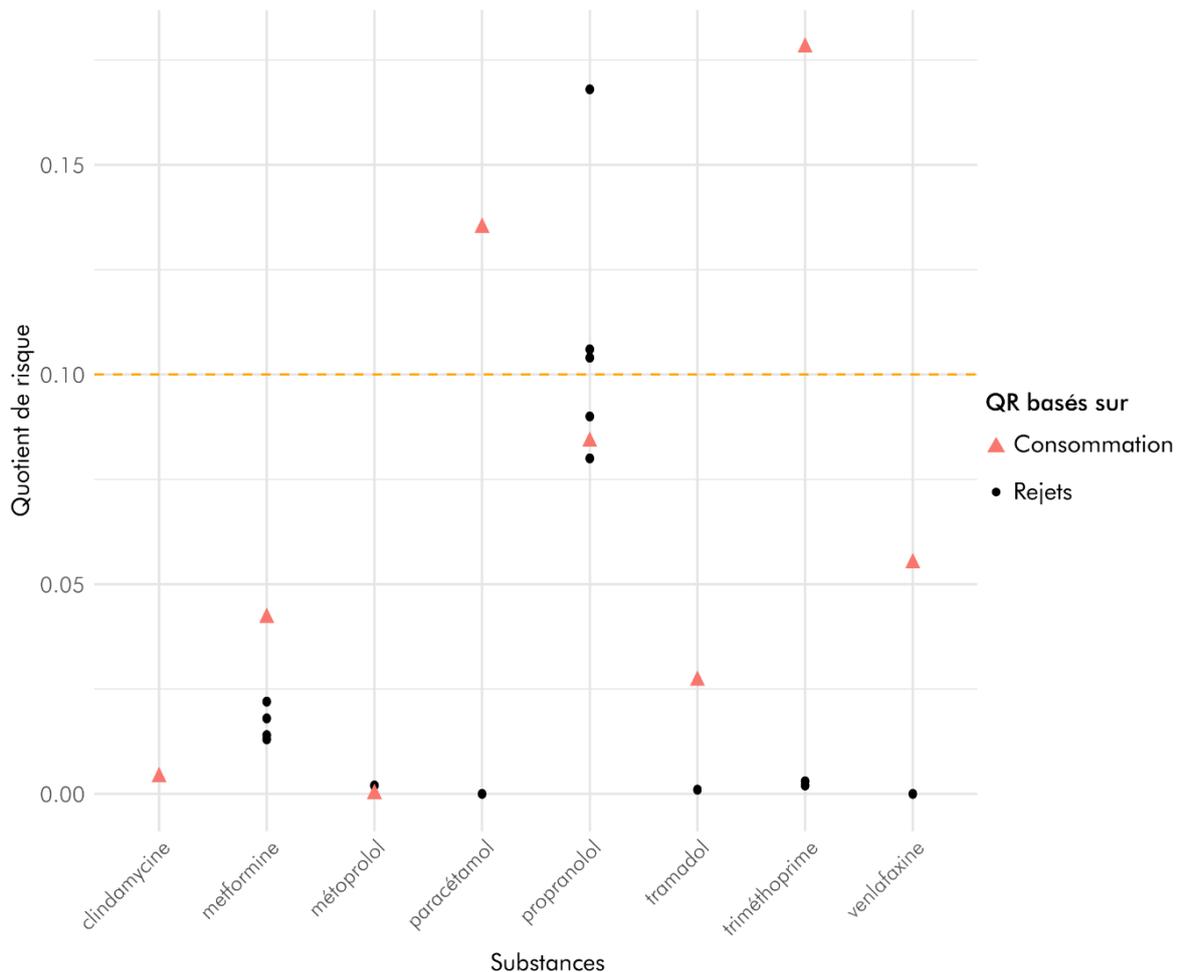


Figure 20 Quotients de risque attribués aux rejets de l'EMS

## 6 Discussion

Les résultats des mesures montrent que les rejets de l'EMS participent à l'apport de substances dans la STEP et dans le milieu récepteur à des niveaux différents selon la substance. Ce chapitre discute des résultats obtenus afin de les expliquer et les contextualiser dans la recherche.

### 6.1 Consommation de l'EMS

La consommation totale de médicaments de La Rosière se situe dans la moyenne cantonale d'après les données d'Unisanté. Cependant, la classe ATC la plus présente au niveau cantonal est la A (Système digestif et métabolisme), alors qu'à La Rosière c'est la N (système nerveux). Les plus représentées restent tout de même N, A et C (Système cardio-vasculaire). Ces différences peuvent s'expliquer par les différentes missions des établissements qui ne traitent pas les mêmes types de pathologies. La Rosière ayant une mission de psychogériatrie prescrira naturellement plus de médicaments relatifs au système nerveux, alors que les médicaments ciblant le système digestif et métabolique sont répandus dans tous les établissements. La répartition des prescriptions de l'EMS correspond à ce qui peut être vu dans la littérature (Lacorte et al., 2018, 2021). L'étude de Lacorte et al. (2018) montre également des substances analgésiques, antiépileptiques et antidiabétiques comme les plus consommées sans prendre en compte le macrogol qui représente 86% de la consommation dans leur étude. Les catégories N et C sont les plus prescrites dans tous les établissements étudiés en Espagne, au Portugal et en France par Lacorte et al. (2021). Cependant, la catégorie A est beaucoup plus présente dans les EMS vaudois alors que Lacorte et al. (2021) identifient plutôt les anti-infectieux (classe J) comme la troisième catégorie la plus importante.

Dans le cas d'un hôpital, par sa fonction différente, les substances consommées ne sont pas les mêmes. Les médicaments les plus administrés sont toutefois similaires à la consommation en EMS avec du macrogol et des analgésiques (Daouk et al., 2015). Cependant, les patients en hôpitaux consommeront beaucoup plus d'antibiotiques que les établissements médico-sociaux (Daouk et al., 2015; Le Corre et al., 2012). De plus, les hôpitaux utilisent des produits de contraste pour rayons X qui ne sont pas utilisés en EMS. Ces substances peuvent représenter 58% des rejets de l'hôpital (Escher et al., 2011). À l'inverse, les résidents des EMS se verront beaucoup plus prescrire des

substances psychoactives comme des somnifères et des antidépresseurs (Gómez-Canela et al., 2019; Lacorte et al., 2021). Les deux types de rejets peuvent être comparés afin d'établir les ordres de grandeur, tout en gardant à l'esprit ces différences.

## **6.2 Rejets de l'EMS**

Sept des dix substances recherchées ont été détectées dans les rejets de l'EMS. Les concentrations varient parfois beaucoup entre les échantillons notamment pour la metformine avec une différence de 400 µg/l entre la valeur minimum et maximum. La metformine étant un médicament qui se prend de manière continue tous les jours (Compendium, 2023), il est étonnant d'avoir une aussi grande variation en trois jours. La dilution de la substance peut jouer un rôle, mais une différence devrait se voir pour toutes les substances, ce qui n'est pas le cas. En effet, l'échantillon le plus élevé de metformine (A1) n'est pas spécialement le plus élevé pour les autres substances. La PEC<sub>EMS</sub> indique une concentration de 225 µg/l, ce qui est plus proche des concentrations mesurées en A2 et A3. Ceci laisse penser que l'échantillon A1 est plus élevé que la normale. L'amisulpride ne figure pas dans la consommation de La Rosière et ne se retrouve pas dans les effluents de celle-ci, ce qui est cohérent.

Concernant l'absence de clindamycine dans les rejets, il faut rappeler que c'est un antibiotique majoritairement utilisé pour traiter les affections respiratoires avec un traitement durant une dizaine de jours (Compendium, 2023). Ce type de pathologies est plus présent durant la saison froide (OFSP, 2023). Il va donc y avoir une saisonnalité dans les prescriptions, avec un pic en hiver et beaucoup moins en été. Les échantillons ayant été pris en juin, cela pourrait expliquer l'absence de cette substance dans les rejets de tout le bassin versant.

La venlafaxine qui n'a pas non plus été détectée en sortie d'EMS est pourtant un principe actif qui est utilisé en continu sur le long terme. D'ailleurs, la concentration prédite montre une valeur de 0.064 µg/l, qui est au-dessus de la LQ. D'autres études ont montré des concentrations en sortie d'hôpital plus élevées (Kosma et al., 2019; Santos et al., 2013). Kosma et al. (2019) ont trouvé une concentration moyenne en été de 249.4 µg/l et 332.2 µg/l en hiver. Il y a donc une saisonnalité dans la consommation de ce médicament et cela suggère que la venlafaxine est moins prescrite en été par rapport au reste de l'année. De plus, la venlafaxine étant excrétée qu'à 5%, cela diminue rapidement les proportions de rejet sous forme parente et pourrait expliquer la non-détection de la substance dans des rejets plus faibles que dans Kosma et al. (2019). De

plus, la venlafaxine a un  $\log K_{ow}$  de 2.69. Les analyses chimiques étant uniquement faites sur la phase aqueuse, une partie des substances peuvent se retrouver plutôt dans la phase solide par adsorption. Cependant, ces éléments seuls expliquent difficilement l'absence de détection dans tous les échantillons en rejet de l'EMS. Ces résultats peuvent également provenir d'erreurs analytiques dans les analyses chimiques ou dus à des dégradations de substances lors du stockage des échantillons (Verlicchi, 2018). Les faibles concentrations sont les plus sensibles à ces incertitudes.

À l'inverse, les bêtabloquants sont généralement supérieurs que ce qui a été trouvé dans des rejets d'hôpitaux (McBean et al., 2018; Ulvi et al., 2022), notamment pour le sotalol et le métoprolol. Le propranolol est en revanche plus faible que l'étude de McBean et al. (2018) mais dans les mêmes ordres de grandeur que Ulvi et al. (2022). Le sotalol montre la plus grande différence avec une moyenne à 4  $\mu\text{g/l}$ , alors que les études citées sont autour de 0.3  $\mu\text{g/l}$  voire 0.4  $\text{ng/l}$ , malgré des effluents provenant d'établissements avec plus de 250 places, contrairement à 76 pour La Rosière.

Les analgésiques paracétamol et tramadol sont assez peu détectés par rapport à leur consommation. En effet, le paracétamol a une charge moyenne de 414  $\text{mg/jour}$  en sortie d'EMS alors qu'il est consommé à plus de 56  $\text{g/jour}$ . Malgré un faible taux d'excrétion, la  $\text{PEC}_{\text{EMS}}$  moyenne est cinq fois plus élevée que la concentration moyenne mesurée. C'est également le cas de Daouk et al. (2016). Ces faibles concentrations peuvent être dues à des incertitudes analytiques ou une dégradation des substances, sachant que le paracétamol est facilement biodégradé (Wu et al., 2012). D'autres études montrent le paracétamol dans les substances les plus mesurées, avec des concentrations plutôt autour de  $10^2 \mu\text{g/l}$  (Lacorte et al., 2021). Concernant le tramadol, le taux d'excrétion est de 30%, mais il n'est trouvé qu'à 0.5  $\text{mg/jour}$  pour une consommation de 136  $\text{mg/jour}$ . Dans ce cas, des incertitudes dans les analyses chimiques sont également possibles tout comme une dégradation de la substance.

Le triméthoprime est également moins mesuré que prévu par la  $\text{PEC}_{\text{EMS}}$ . En effet, avec un taux d'excrétion de 80%, la concentration attendue est de 8  $\mu\text{g/l}$ , mais seulement 0.057  $\mu\text{g/l}$  a été mesuré. Les études ayant mesuré du triméthoprime sont systématiquement plus élevées qu'ici (Aydin et al., 2019; Daouk et al., 2015). Cela est sûrement dû au fait d'une plus grande consommation d'antibiotique en hôpital qu'en EMS (Le Corre et al., 2012).

Globalement, les résultats sont en adéquation avec ce qui est retrouvé dans d'autres études. Il n'est pas évident d'avoir une comparaison fiable pour toutes les substances,

comme chaque contexte et établissement est différent en termes de substances prescrites, nombre de lits, types de pathologies traitées, démographie, etc. La plupart des études mesurent des concentrations de rejets d'hôpitaux et non d'EMS. Toutes ces différences amènent un élément pouvant limiter la pertinence d'une comparaison plus précise entre les études. Cependant, certaines substances sont plus étudiées et permettent toutefois d'ancrer les résultats obtenus dans un contexte plus global. De plus, les PEC sont un bon moyen pour estimer les ordres de grandeur des rejets dans les eaux, mais peuvent être limités par des incertitudes sur la consommation d'eau, le taux d'excrétion ou encore la variation annuelle des prescriptions de médicaments.

### **6.3 Apports et rejets de la STEP**

Les concentrations mesurées en entrée de la STEP de Gimel correspondent aux ordres de grandeur décrits dans d'autres études après normalisation de la taille du bassin versant (Gracia-Lor et al., 2012; Papageorgiou et al., 2016). Tous les médicaments analysés dans ce travail n'ont pas fait l'objet de mesure en entrée de STEP comparable à celle de Gimel. Cela limite la comparaison des ordres de grandeur mesurés. Cependant, des mesures qui ont été prises dans la STEP de Gimel en 2021 (annexe 9.6) montrent que les substances suivent les mêmes ordres de grandeur (Chollet, 2021). La metformine et le métoprolol n'ont pas été analysés durant la campagne de mesure de 2021, limitant la comparaison avec ce travail. Contrairement à cette étude, l'amisulpride n'a pas été détectée en 2021 alors que la clindamycine l'a été à 0.02 µg/l.

À la différence de ce qui était prévu, l'échantillon B7 qui a été pris la nuit n'a pas toujours été en dessous de la moyenne avec de basses concentrations. Cela montre qu'il est important de bien connaître la dynamique journalière liée au bassin versant. Cependant, les contraintes techniques notamment à cause du débit en sortie de l'EMS restent un problème à régler pour échantillonner la nuit.

En sortie de STEP, les concentrations correspondent globalement à la moyenne cantonale (Direction générale de l'environnement, 2023) et dans d'autres STEP autour du Léman (Chèvre, 2014). Le tableau 5 reprend les données de l'annexe E6 du rapport de l'épuration vaudoise 2022 sur les micropolluants pour les dix substances analysées dans le cadre de ce travail.

Tableau 5 Moyenne des micropolluants analysés en sortie des STEP vaudoises avec les résultats des mesures pour comparaison. Rapport de l'épuration vaudoise 2022, annexe E6, p.86

<b>Substance</b>		<b>Concentration moyenne en sortie [µg/l]</b>	<b>Concentration max en sortie [µg/l]</b>	<b>Élimination moyenne [%]</b>	<b>Détection en sortie [%]</b>
Amisulpride	VD	0.44	2.72	26	98
	Gimel	1.29	1.54	53	-
Clindamycine	VD	0.06	0.91	26	99
	Gimel	0	0	-	-
Metformine	VD	26.15	129.07	73	100
	Gimel	8.48	11	94	-
Métoprolol	VD	0.66	1.65	29	100
	Gimel	0.45	0.51	63	-
Paracétamol	VD	4.47	43.47	97	33
	Gimel	0	0	100	-
Propranolol	VD	0.06	0.25	29	95
	Gimel	0.04	0.07	6	-
Sotalol	VD	0.28	0.91	21	95
	Gimel	0.39	0.44	-24	-
Tramadol	VD	0.57	2.57	19	100
	Gimel	0.24	0.27	34	-
Triméthoprim	VD	0.16	0.61	33	98
	Gimel	0.11	0.14	23	-
Venlafaxine	VD	0.32	1.31	24	100
	Gimel	0.18	0.2	14	-

Les concentrations mesurées en sortie de la STEP de Gimel se situent généralement dans le même ordre de grandeur que les mesures de l'annexe E6. Excepté pour l'amisulpride qui est plus élevée à Gimel, toutes les substances sont soit égales ou inférieures à la moyenne cantonale en sortie de STEP. Ce constat confirme la même observation faite par Chollet (2021) dans les mesures en 2021. Le paracétamol et la clindamycine (qui n'est pas mesurée en entrée non plus) n'ont pas été détectés en sortie à Gimel alors qu'ils sont détectés dans les STEP du canton respectivement à 33% et 99%. Le paracétamol est une molécule qui est très bien biodégradée (Wu et al., 2012), ce qui explique le taux d'abattement de 100% à Gimel et 97% dans le canton. La metformine présente la plus grande différence avec une moyenne cantonale de 26.15 µg/l alors que la moyenne à Gimel est de 8.5 µg/l. Comme l'explique le rapport d'épuration, la metformine est le composé le plus mesuré dans les STEP. Les résultats du rapport « confirment l'augmentation des concentrations en sortie de la STEP de Lausanne, entre autres du Paracétamol [...] et de la Metformine [...] à la suite de l'arrêt

de la biologie en automne 2021 dans le cadre des travaux de reconstruction.» (Direction générale de l'environnement, 2023, p.24). Ce constat montre l'efficacité du traitement biologique dans l'abattement de ces deux substances. Cependant, plusieurs métabolites du paracétamol sont connus notamment par glucuronidation ou sulfatation. Ces sous-produits n'ont pas été analysés et peuvent se retrouver dans le milieu récepteur. Les concentrations de metformine sont similaires aux STEP de même capacité et de zone géographique comme Aubonne. Les données mesurées à Gimel en 2021 (Chollet, 2021) montrent également des concentrations similaires. Cependant, le triméthoprimé a été mesuré à 0.007 µg/l en 2021 alors que les concentrations au site C ont une moyenne de 0.11 µg/l. Il serait intéressant de comparer les consommations de l'EMS de 2021 et 2023 pour déceler une différence potentielle qui expliquerait cette augmentation.

Il convient maintenant de mettre en relation les concentrations en entrée et sortie de la STEP avec l'analyse du taux d'abattement des substances. Le tableau 5 présente les taux d'abattement moyen des STEP vaudoises issues de l'annexe E6 du rapport de l'épuration vaudoise 2022. Les moyennes des taux d'abattement mesurés dans la STEP de Gimel sont plus élevées que la moyenne cantonale pour cinq substances. Le propranolol, le sotalol, le triméthoprimé et la venlafaxine montrent des valeurs plus basses à Gimel que dans les autres STEP. Le sotalol présente la plus grande différence avec un taux négatif d'environ -27%, ce qui suggère une augmentation de la substance parente durant le traitement. Avec un taux de 21%, cette augmentation durant le traitement ne semble pas systématiquement concerner les STEP du canton de Vaud, même si le sotalol reste mal abattu avec un traitement standard. À ce jour, il n'y a pas d'étude qui a pu montrer des effets du traitement en STEP sur le sotalol, comme une déconjugaison, qui pourrait expliquer cette augmentation des concentrations.

Les mesures effectuées en 2021 dans la STEP montrent des taux d'abattement semblable également. Le triméthoprimé est en revanche moins bien abattu dans les mesures de cette étude par rapport à 2021 d'une différence de 22%. Cela peut être dû à plusieurs facteurs différents comme la température qui influence le traitement (Ulvi et al., 2022) ou la composition chimique des eaux et des boues à ce moment donné (Sellier et al., 2022).

Sur les neuf substances détectées en entrée, seules deux substances sont abattues à plus de 80% dans la STEP. Cette dernière, n'étant pas équipée d'un traitement spécifique pour les micropolluants (charbon actif ou ozonation), il n'est pas étonnant de

constater cette performance qui correspond à ce qui peut être observé pour les autres STEP avec des traitements similaires dans le canton.

#### **6.4 Part de l'EMS dans la STEP**

La part des rejets de l'EMS dans les eaux usées entrant en STEP a pu être calculée grâce aux charges des sites A et B. La majorité des substances sont sous les 10%, mais la metformine, le métoprolol et le sotalol ont une part bien plus élevée avec une moyenne allant même au-delà de 100% pour les deux derniers. Comme déjà expliqué dans les résultats, les mesures n'ayant pas été prise en même temps, il n'est pas étonnant de voir que le rejet maximum de l'EMS peut être plus élevé que la concentration minimum en entrée de STEP. Il est probable que l'EMS ait également une contribution faible lors d'une faible charge en entrée de STEP. Cependant, il n'est pas possible de le vérifier avec ces données. Cette méthode permet donc de donner un ordre de grandeur avec deux extrêmes.

Plusieurs études ont analysé la part des rejets d'un ou plusieurs hôpitaux dans les eaux usées entrant en STEP municipales. Malgré des chiffres variant beaucoup entre les études, les contributions des hôpitaux restent bien supérieures à ce qui est mesuré dans ce travail (Daouk et al., 2016; Le Corre et al., 2012; McBean et al., 2018; Santos et al., 2013). Il est important de rappeler que les médicaments les plus consommés dans les hôpitaux sont différents de ceux dans les EMS. En revanche, les proportions des bêtabloquants sont généralement beaucoup plus élevées pour l'EMS mesuré dans cette étude que les hôpitaux d'autres articles. En effet, McBean et al. (2018) et Le Corre et al. (2012) ont calculé des proportions de 0.5% à 2% pour le métoprolol et le sotalol alors que les taux mesurés dans ce travail sont supérieurs à 29%, jusqu'à 100% dans le cas maximum. Concernant, le propranolol, celui-ci est également plus élevé, mais seulement de 1% à 2% de plus que les hôpitaux.

Cette observation spécifique aux bêtabloquants pourrait être expliquée par le type de patients consommant ces substances. En effet, les bêtabloquants sont plus consommés par les personnes de plus de 60 ans par rapport au reste de la population (Observatoire suisse de la santé, 2023). La figure 21 reprend les données de consommation en doses quotidiennes déterminées (DDD) de 2019 pour la Suisse provenant de l'Observatoire suisse de la santé. Les personnes entre 71 et 80 ans se voient prescrire presque neuf fois plus de bêtabloquants que celle en dessous de 50 ans.

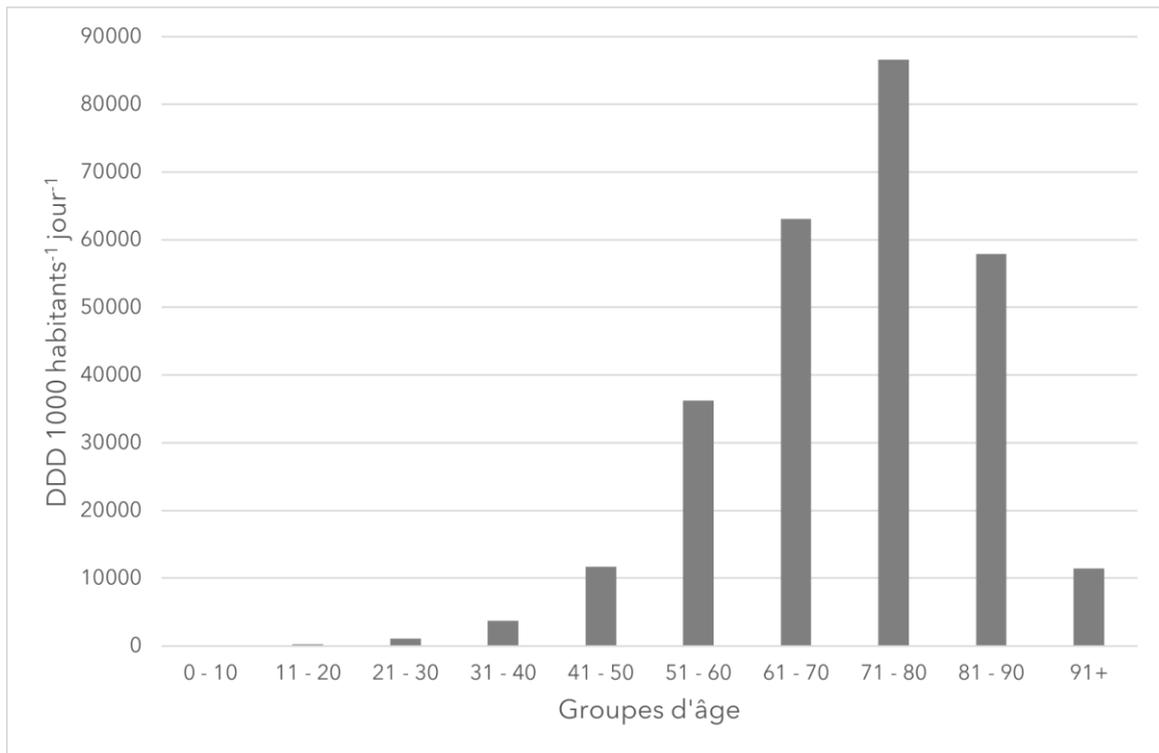


Figure 21 Consommation de bêtabloquants en DDD par 1'000 hab. par jour pour 2019 en Suisse (données : Observatoire suisse de la santé, 2023)

Les habitants de plus de 65 ans représentent 17.6% de la population totale de Gimel en 2019 (OFS, 2021), dont environ 15% sont résidents à l'EMS de La Rosière. Les proportions de bêtabloquants dans l'entrée de STEP attribuées à La Rosière restent élevées par rapport à ces 15%. Les antidiabétiques dont fait partie la metformine (jusqu'à 80% de part de l'EMS) sont consommés environ trois fois plus par les plus de 65 ans que la moyenne suisse (Observatoire suisse de la santé, 2023). Ces chiffres montrent qu'il est important de prendre également en compte l'aspect démographique de la consommation des médicaments.

De plus, les données de ventes de la pharmacie de Gimel (qui fournit La Rosière également) de mai à juin 2023 de trois substances, le métoprolol, le propranolol et la metformine, ont pu être acquises par Unisanté. Il est intéressant de noter que c'est la seule pharmacie à Gimel, ce qui limite les sources des ventes et donc les incertitudes pour la comparaison avec les mesures dans les eaux usées. La proportion des trois médicaments est présentée dans le tableau 6.

Tableau 6 Proportion de mg vendu à La Rosière de la pharmacie de Gimel de mai à juin 2023. Les données mesurées dans les eaux permettent une comparaison directe

<b>Substance</b>	<b>Proportion des mg vendus [%]</b>	<b>Proportion de l'EMS mesuré dans les eaux [%]</b>
Propranolol	1.1	3.2
Metformine	22	21.5
Métoprolol	18.3	55.7

Les taux correspondent plutôt bien, avec une plus grande différence pour le métoprolol. Cependant, de nombreuses inconnues peuvent influencer la comparaison de ces taux, comme les autres sources de ventes (autres pharmacies dans une commune voisine, médecins, etc.) ou l'endroit de la consommation. Or, ces proportions peuvent être intéressantes comme premières approximations dans les petits bassins versants sans hôpitaux.

Les résidents de La Rosière représentent environ 3% de la population totale de la commune. Il est intéressant de constater que la part de l'EMS dans les charges en entrée de STEP est, pour la majorité des substances, autour de ce taux (entre 0.6% et 3.2%). La part de La Rosière dans les rejets correspond donc globalement au poids démographique de l'EMS dans la commune. Cependant, il y a une surreprésentation claire pour les médicaments plus spécifiques à une tranche démographique comme les bêtabloquants. Il serait donc intéressant de concentrer l'analyse de médicaments plus spécifique afin de faire ressortir la part de l'EMS dans la STEP.

## **6.5 Évaluation du risque environnemental**

Selon le taux de dilution de la STEP en étiage décrit dans le rapport de l'épuration vaudoise de 2022, les concentrations dans le milieu naturel ont pu être calculées à partir des mesures en rejets de STEP ( $PEC_{\text{rejets}}$ ), ainsi que les concentrations calculées à partir de la consommation de l'EMS ( $PEC_{\text{conso}}$ ). À la suite de la dilution dans le milieu récepteur, les substances mesurées montrent majoritairement des valeurs dans la dizaine de ng/l, ce qui correspond à d'autres observations en Europe (Lacorte et al., 2021). Les quotients de risque (QR) varient beaucoup entre les substances selon la PNEC et la concentration calculée dans l'environnement. La plupart des substances présentent un risque faible ( $QR < 0.1$ ). Le propranolol et la venlafaxine sont les seules substances à présenter un risque important ( $QR > 1$ ) après dilution. Leur PNEC sont les plus petites des substances analysées, ce qui en font les plus toxiques d'après les données à

disposition, avec respectivement une PNEC de 5 et 13 ng/l (tableau 1). Les valeurs des PNEC peuvent changer significativement d'une étude à une autre, ce qui rend l'évaluation du risque sensible à ces variations.

D'autres études sur les rejets d'hôpitaux montrent plutôt un risque important ( $QR > 1$ ) pour des antibiotiques étant donné que ce sont les médicaments les plus consommés dans ces établissements (Daouk et al., 2016). Cependant, il n'y a pas d'études analogues évaluant le risque sur des mesures pour les établissements médico-sociaux. Dans le cas du bassin versant de Gimel, ce sont un bêtabloquant et un antidépresseur qui présentent le plus grand risque. Il est intéressant de noter que ce sont des substances avec une part de l'EMS plutôt faible, qui ne dépasse pas 7.8% pour le propranolol et 0% pour la venlafaxine. La source de ces substances dans l'environnement est donc diffuse dans la population. Concernant la contribution de La Rosière au risque des autres substances, la part calculée dans les PEC ne montre pas de risques importants. La metformine, qui représente jusqu'à 80% de rejets de l'EMS, est la concentration de l'EMS la plus élevée dans la rivière et présente un QR total de 0.022. Par ailleurs, au vu de la PNEC basse du propranolol, celui-ci présente un risque modéré ( $0.1 < QR < 1$ ) pour la part de l'EMS dans la rivière, alors qu'il est peu mesuré dans les rejets. Même si le rejet de l'EMS n'induit pas le dépassement de 1 au QR des rejets totaux, la contribution de La Rosière dans les rejets n'est pas négligeable. En effet, la somme des QR des substances pour chaque PEC de rejets montre systématiquement des valeurs supérieures à 0.1. Les effets de mélanges peuvent être importants et il convient donc de prendre en compte l'ensemble des substances. Il est également pertinent de garder à l'esprit que le risque est évalué ici uniquement pour les rejets de la STEP dans le milieu récepteur, mais il ne prend pas en compte la présence de substances déjà présente en amont qui peut augmenter le risque. En effet, les STEP et rejets en amont de Gimel rejettent sans doute des substances similaires à celles mesurées à Gimel.

Concernant l'évaluation du risque dans les  $PEC_{conso}$ , celles-ci sont globalement plus élevées que les  $PEC_{rejets}$  de la part de l'EMS. La plupart des QR restent sous la limite de 0.1, indiquant un risque faible. Cependant, le paracétamol qui n'a pas été détecté en sortie de STEP présente un risque modéré avec un QR de 0.14. Ces différences peuvent être expliquées par l'absence de prise en compte du traitement en STEP ainsi que d'incertitudes dans les valeurs de dilution réelle notamment en sortie de l'EMS.

Globalement, les PEC<sub>conso</sub> donnent un bon ordre de grandeur des rejets dans la rivière et peuvent être utilisées comme première approximation (Verlicchi, 2018).

La somme des QR des substances dans les PEC de rejets montre des valeurs allant de 2.8 à 4.3. Cela indique que le mélange des substances peut augmenter significativement le risque dans l'environnement. Cependant, la somme des QR présente plusieurs imprécisions et est souvent remise en question (Gosset et al., 2020). En effet, chaque substance aura un effet différent sur les organismes et les effets de mélanges sont donc plus complexes qu'une simple somme. Néanmoins, cette méthode permet de simuler un *worst case* en l'absence d'autres méthodes.

Cette évaluation des risques ne prend pas en compte les métabolites et les effets de mélanges complexes. Ces derniers sont encore peu compris et peuvent sous-estimer l'évaluation (Celiz et al., 2009). De plus, les médicaments, étant donné leurs principes actifs, peuvent avoir des effets spécifiques comme la cytostatique ou l'antibiorésistance. Ces effets, ne sont pas pris en compte ici, car il n'y a pas ou peu de critères de qualité existants spécifiques à ce genre d'effets (Escher et al., 2011). Les risques réels peuvent être donc plus élevés selon les critères pris en compte pour l'évaluation, mais également plus bas selon les conditions de dilutions et de données écotoxicologiques encore peu détaillées (Fatta-Kassinos et al., 2011).

## **6.6 Solutions et perspectives**

Afin de diminuer les risques pour le milieu naturel, un traitement spécifique en STEP comme le charbon actif ou l'ozonation est utile (Wiest et al., 2018). La question peut se poser de prétraiter les eaux en sortie de l'EMS au même titre que des effluents industriels. Certains hôpitaux sont équipés de ce genre de dispositif afin de diminuer les charges de pathogènes résistants, de rejets pharmaceutiques et de résidus biologiques (Majumder et al., 2021; Wiest et al., 2018). Cependant, l'efficacité n'est toutefois pas toujours concluante et dépend de nombreux paramètres (Majumder et al., 2021). Dans le cas des EMS, le nombre d'établissements sur le territoire et les volumes d'eau rejetés par infrastructures rendent la pertinence d'un tel dispositif questionnable. Contrairement aux hôpitaux, les EMS sont plus nombreux avec des tailles beaucoup plus petites. En effet, les coûts et la complexité technique rendraient la mise en place de traitements spécifiques compliquée pour ce genre d'infrastructures. Cependant, il n'y a pas d'étude claire sur la pertinence du prétraitement des rejets

d'EMS. D'autres niveaux d'actions méritent donc d'être explorés, notamment au niveau de la source, c'est-à-dire dans les politiques de prescription.

La diminution de l'administration de médicaments en EMS est de plus en plus mise en avant (Cateau et al., 2020). En effet, Cateau et al. (2020) soulignent la pertinence de la « déprescription » dans les soins notamment en EMS afin de diminuer la polymédication. L'étude menée dans des EMS vaudois et fribourgeois explore la question au travers de travaux qualitatifs et quantitatifs auprès des résidents et des soignants. Il en ressort de nombreux points positifs à prescrire moins de médicaments pour les résidents. L'approche de la « déprescription » peut diminuer l'usage de médicaments superflu de 60%. Cela a pour conséquence une diminution de la mortalité et des chutes. Cependant, les auteurs soulignent que de nombreuses barrières persistent sur l'utilisation des médicaments tant du côté des soignants qui voient les résidents comme peu enclins aux changements que du côté des résidents qui prennent par habitude leurs médicaments sans remise en question ainsi que par confiance envers leur médecin. En revanche, l'étude montre que les patients sont relativement ouverts à une diminution de leur médication à la suite d'une discussion avec le personnel de santé. Les verrous se retrouvent plutôt dans l'organisation du système de santé suisse.

Cateau et al. (2020) avancent qu'une diminution de la polymédication est envisageable et, si l'aspect environnemental n'était pas le sujet de recherche, leurs constats entrent en résonance avec les problématiques soulevées dans ce travail.

## **6.7 Limitations du travail**

Même si ce travail a pu montrer l'impact des EMS dans les petits cours d'eau, plusieurs limitations peuvent être mises en évidence. Tout d'abord, le nombre de substances qui ont pu être analysées ne permet pas d'évaluer pleinement la contribution de l'EMS dans le bassin versant.

Le nombre d'échantillons limite également l'évaluation de l'ampleur des rejets de l'EMS et en STEP. Si un ordre de grandeur peut déjà être démontré, il est difficile d'obtenir des statistiques robustes pouvant mettre en lumière des tendances sans données sur le plus long terme, comme la part de l'EMS dans les rejets de la STEP, des dynamiques dans la semaine ou les taux d'abattement des substances.

De plus, la limitation à un seul bassin versant ne permet pas d'extrapoler aux autres établissements médico-sociaux. En effet, ce cas d'étude permet d'obtenir les ordres de

grandeur, mais chaque établissement à une consommation différente selon sa mission ou le type de patients présents. En outre, les STEP n'ont pas toutes le même type de traitement et l'abattement des substances peut beaucoup changer. Dans ce cas, l'introduction du mélange de microorganismes BioCat+ peut amener des différences de traitements par rapport à une STEP ne l'utilisant pas par exemple.

Comme pour un grand nombre d'études intégrant une évaluation du risque environnemental des micropolluants, les effets de mélange et les impacts des métabolites ne sont pas pris en compte ici. En effet, ces implications sont encore peu comprises, mais peuvent avoir un impact considérable sur le risque environnemental. Cela demande en effet une méthode différente et des outils plus complexes difficiles à mettre en place.

Si cette recherche a pu mettre en lumière de nombreux points et estimations, il faut garder à l'esprit ces limitations pour appréhender les résultats obtenus.

## **7 Synthèse et conclusion**

Ce travail a mis en évidence les rejets médicamenteux d'un établissement médico-social et leur impact dans les eaux usées et de surface. Grâce à l'échantillonnage des eaux en sortie de l'EMS La Rosière ainsi qu'en entrée et sortie de la STEP municipale de Gimel en aval, les concentrations de dix substances actives ont pu être déterminées afin d'évaluer la part de l'EMS dans le reste du bassin versant et son impact sur le milieu naturel.

Les concentrations des rejets de l'EMS étudiés ont montré des concentrations significatives pour sept des dix substances étudiées en sortie de l'établissement. Les valeurs allaient de  $10^{-2}$  à  $10^2$  µg/l. En adéquation avec la littérature, la metformine représentait la charge la plus élevée avec un apport moyen de 6.9 g en 12h. Le propranolol présentait les valeurs les plus faibles. La metformine et le paracétamol variaient plus que les autres substances entre les différents échantillons sans qu'une tendance cohérente ne se dessine. Globalement, les concentrations mesurées correspondent aux concentrations prédites sur la base des consommations annuelles. Le triméthoprime et le tramadol ont néanmoins des valeurs calculées cent fois plus élevées que les valeurs mesurées.

Concernant les mesures en entrée de STEP, neuf substances ont été détectées. Celles-ci ont présenté les valeurs les plus élevées en termes de charge sur 12h. La metformine représentait une moyenne de 32.6 g et le paracétamol de 23.8 g, alors que les autres valeurs variaient dans des ordres de grandeurs entre 10 et 10<sup>2</sup> mg. Les taux d'abattement fluctuaient fortement selon la substance. En effet, seules quatre molécules ont été éliminées à plus de 50%. Le paracétamol était le seul à être éliminé à 100%. Le sotalol présentait des valeurs plus élevées en sortie qu'en entrée, sans qu'une explication claire n'ait pu être formulée. Les valeurs des substances analysées en sortie de STEP sont égales ou inférieures aux moyennes mesurées dans le canton.

La proportion de l'EMS dans les rejets de la STEP a montré que l'établissement contribue fortement à l'apport de certaines substances dans les eaux usées. En effet, les bêtabloquants métoprolol et sotalol représentaient en moyenne 55% à 100% des rejets. La metformine a montré une moyenne de 21% pouvant monter à 80% dans le cas maximum. Les autres substances se trouvaient autour de 1% à 3%. La part de l'EMS dans les eaux dépendait fortement des substances. Les médicaments généralement administrés aux personnes de plus de 65 ans sont plus représentés, à l'instar des bêtabloquants.

L'évaluation des risques pour les eaux de surface en aval du rejet de la STEP a montré que la venlafaxine et le propranolol dépassent la PNEC, induisant un risque potentiellement important pour les organismes. L'EMS n'y contribue pas pour la venlafaxine, mais montre un risque modéré qui lui est propre pour le propranolol malgré une part de seulement 3% dans les rejets. L'évaluation, en prenant les substances individuellement, n'a pas révélé de grands dépassements des PNEC. Cependant, les effets de mélange et les interactions avec les autres produits présents peuvent augmenter les risques de toxicité pour les organismes aquatiques. De plus, cette évaluation n'a pas pris en compte les concentrations potentiellement déjà présentes en amont, qui pourraient faire grimper le quotient de risque.

Cette étude a donc pu montrer que les établissements médico-sociaux sont effectivement une source de rejets de médicaments dans les eaux usées. Cependant, les concentrations varient passablement entre les substances, de même que la proportion de la contribution de l'EMS dans les eaux usées du bassin versant. Quelques substances ont montré une part non négligeable attribuée à l'EMS, mais une fois éliminées celles-ci ne contribuaient que très peu à l'évaluation du risque global, alors que d'autres augmentaient ce risque même avec des rejets moindres. En revanche en

cas de rejets d'eaux non traitées, lors d'un orage par exemple, les quantités déversées dans l'environnement peuvent être importantes, augmentant ponctuellement le risque. Afin de mieux connaître les rejets des EMS, il convient de continuer à évaluer et caractériser les établissements à risque. C'est-à-dire, des infrastructures de plus de 50 places rejetant leurs eaux dans des petites STEP (<2'000 EH) à faible facteur de dilution. Des analyses des rejets d'EMS sur de plus longues périodes évaluant un plus grand nombre de substances affinerait la caractérisation des effluents et donc des impacts de ceux-ci. De plus amples travaux sur les effets de mélanges et les métabolites permettraient de caractériser de manière plus complète les impacts des EMS sur les eaux de surface.

Pour finir, la diminution des rejets de médicaments est un point essentiel pour la diminution du risque. Au vu du vieillissement de la population, la consommation de médicaments va augmenter si les politiques de prescriptions restent similaires. Il a été vu que des solutions sont possibles tant du côté des techniques de traitement des eaux que de la « déprescription » (Cateau et al., 2020) dans les établissements médico-sociaux. En effet, une diminution de la polymédication a montré des bénéfices pour la santé des résidents. Il y a donc des intérêts communs entre les pharmaciens, médecins et environnementalistes à continuer de travailler ensemble pour diminuer la charge des substances tant chez les résidents que dans le milieu naturel.

## 8 Références

- Aydin, S., Aydin, M. E., Ulvi, A., & Kilic, H. (2019). Antibiotics in hospital effluents : Occurrence, contribution to urban wastewater, removal in a wastewater treatment plant, and environmental risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(1), 544-558. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3563-0>
- Bolay, L. (2023, mars 21). *Mise en séparatif du réseau d'assainissement* [Communication personnelle].
- Booth, A., Aga, D. S., & Wester, A. L. (2020). Retrospective analysis of the global antibiotic residues that exceed the predicted no effect concentration for antimicrobial resistance in various environmental matrices. *Environment International*, 141, 105796. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105796>
- Cateau, D., Foley, R.-A., & Niquille, A. (2020). Déprescrire en EMS : Regards croisés entre les résidents, leurs proches et les professionnels de la santé. *Rev Med Suisse*, 714, 2169-2171.
- Celiz, M. D., Tso, J., & Aga, D. S. (2009). Pharmaceutical metabolites in the environment : Analytical challenges and ecological risks. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 28(12), 2473-2484. <https://doi.org/10.1897/09-173.1>
- Chèvre, N. (2014). Pharmaceuticals in surface waters : Sources, behavior, ecological risk, and possible solutions. Case study of Lake Geneva, Switzerland. *WIREs Water*, 1(1), 69-86. <https://doi.org/10.1002/wat2.1006>
- Chèvre, N. (2022). Écotoxicologie des médicaments. In *Santé et environnement, vers une approche globale* (1<sup>re</sup> éd., p. 330-337). RMS éditions/Médecine & Hygiène.
- Chollet, J.-D. (2021). *Micropolluants dans la STEP de Gimel (Adénosine)* [Tableau].
- Chollet, J.-D. (2023, avril 4). *Présentation générale de Biocat+* [Communication personnelle].
- CHUV. (2023, juin 29). *EMS La Rosière-Soerensen*. CHUV. <https://www.chuv.ch/fr/ems/accueil>
- Compendium. (2023). *Compendium ATC register*. Compendium. <https://compendium.ch/register>
- Daouk, S., Chèvre, N., Vernaz, N., Bonnabry, P., Dayer, P., Daali, Y., & Fleury-Souverain, S. (2015). Prioritization methodology for the monitoring of active pharmaceutical ingredients in hospital effluents. *Journal of Environmental Management*, 160, 324-332. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.06.037>
- Daouk, S., Chèvre, N., Vernaz, N., Widmer, C., Daali, Y., & Fleury-Souverain, S. (2016). Dynamics of active pharmaceutical ingredients loads in a Swiss university hospital wastewaters and prediction of the related environmental risk for the aquatic ecosystems. *Science of The Total Environment*, 547, 244-253. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.117>
- Direction générale de l'environnement. (2022). *Bilan 2021 de l'épuration vaudoise*. Etat de Vaud.
- Direction générale de l'environnement. (2023). *Bilan 2022 de l'épuration vaudoise* (p. 96). Etat de Vaud.
- DrugBank. (2023). *DrugBank Online* [Banque de données]. <https://go.drugbank.com/drugs>

- EMA. (2006). *Guideline on the Environmental Risk Assessment of Medicinal Products for Human Use* (EMEA/CHMP/SWP/4447/00). European Medicine Agency.
- Escher, B. I., Baumgartner, R., Koller, M., Treyer, K., Lienert, J., & McArdell, C. S. (2011). Environmental toxicology and risk assessment of pharmaceuticals from hospital wastewater. *Water Research*, 45(1), 75-92. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.08.019>
- Fatta-Kassinos, D., Meric, S., & Nikolaou, A. (2011). Pharmaceutical residues in environmental waters and wastewater : Current state of knowledge and future research. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 399(1), 251-275. <https://doi.org/10.1007/s00216-010-4300-9>
- Géodonnée–Institutions médicales et sociales. (2022, février). <https://viageo.ch/catalogue/donnee/201024#sectionMisc>
- Géodonnée–Stations d'épuration (STEP). (2019, janvier). <https://viageo.ch/catalogue/donnee/9605>
- Godoy, A. A., Domingues, I., de Carvalho, L. B., Oliveira, Á. C., de Jesus Azevedo, C. C., Taparo, J. M., Assano, P. K., Mori, V., de Almeida Vergara Hidalgo, V., Nogueira, A. J. A., & Kummrow, F. (2020). Assessment of the ecotoxicity of the pharmaceuticals bisoprolol, sotalol, and ranitidine using standard and behavioral endpoints. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(5), 5469-5481. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07322-0>
- Gómez-Canela, C., Sala-Comorera, T., Pueyo, V., Barata, C., & Lacorte, S. (2019). Analysis of 44 pharmaceuticals consumed by elderly using liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 168, 55-63. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2019.02.016>
- Gosset, A., Polomé, P., & Perrodin, Y. (2020). Ecotoxicological risk assessment of micropollutants from treated urban wastewater effluents for watercourses at a territorial scale : Application and comparison of two approaches. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 224, 113437. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2019.113437>
- Gracia-Lor, E., Sancho, J. V., Serrano, R., & Hernández, F. (2012). Occurrence and removal of pharmaceuticals in wastewater treatment plants at the Spanish Mediterranean area of Valencia. *Chemosphere*, 87(5), 453-462. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.12.025>
- Grung, M., Källqvist, T., Sakshaug, S., Skurtveit, S., & Thomas, K. V. (2008). Environmental assessment of Norwegian priority pharmaceuticals based on the EMEA guideline. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 71(2), 328-340. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2007.10.015>
- Helwig, K., Hunter, C., McNaughtan, M., Roberts, J., & Pahl, O. (2016). Ranking prescribed pharmaceuticals in terms of environmental risk : Inclusion of hospital data and the importance of regular review. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 35(4), 1043-1050. <https://doi.org/10.1002/etc.3302>
- Khan, A. H., Aziz, H. A., Khan, N. A., Hasan, M. A., Ahmed, S., Farooqi, I. H., Dhingra, A., Vambol, V., Changani, F., Yousefi, M., Islam, S., Mozaffari, N., & Mahtab, M. S. (2022). Impact, disease outbreak and the eco-hazards associated with pharmaceutical residues : A Critical review. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(1), 677-688. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03158-9>
- Kosma, C. I., Nannou, C. I., Boti, V. I., & Albanis, T. A. (2019). Psychiatric and selected metabolites in hospital and urban wastewaters : Occurrence, removal, mass loading, seasonal

- influence and risk assessment. *Science of The Total Environment*, 659, 1473-1483. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.421>
- Lacorte, S., Gómez-Canela, C., & Calas-Blanchard, C. (2021). Pharmaceutical Residues in Senior Residences Wastewaters : High Loads, Emerging Risks. *Molecules*, 26(16), Article 16. <https://doi.org/10.3390/molecules26165047>
- Lacorte, S., Luis, S., Gómez-Canela, C., Sala-Comorera, T., Courtier, A., Roig, B., Oliveira-Brett, A. M., Joannis-Cassan, C., Aragonés, J. I., Poggio, L., Noguer, T., Lima, L., Barata, C., & Calas-Blanchard, C. (2018). Pharmaceuticals released from senior residences : Occurrence and risk evaluation. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(7), 6095-6106. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9755-1>
- Le Corre, K. S., Ort, C., Kateley, D., Allen, B., Escher, B. I., & Keller, J. (2012). Consumption-based approach for assessing the contribution of hospitals towards the load of pharmaceutical residues in municipal wastewater. *Environment International*, 45, 99-111. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2012.03.008>
- López, A., Rodríguez-Chueca, J., Mosteo, R., Gómez, J., Rubio, E., Goñi, P., & Ormad, M. P. (2019). How does urban wastewater treatment affect the microbial quality of treated wastewater? *Process Safety and Environmental Protection*, 130, 22-30. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.07.016>
- Luís, S., Moura, R., Lima, M. L., Poggio, L., Aragonés, J. I., & Camilo, C. (2021). Judging Pharmaceutical Environmental Risk by its Cover? The Effects of Prescription Medication and Disease Severity on Environmental Risk Perception. *Risk Analysis*, n/a(n/a). <https://doi.org/10.1111/risa.13856>
- Luo, Y., Guo, W., Ngo, H. H., Nghiem, L. D., Hai, F. I., Zhang, J., Liang, S., & Wang, X. C. (2014). A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment. *Science of the Total Environment*, 473, 619-641. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.12.065>
- Majumder, A., Gupta, A. K., Ghosal, P. S., & Varma, M. (2021). A review on hospital wastewater treatment : A special emphasis on occurrence and removal of pharmaceutically active compounds, resistant microorganisms, and SARS-CoV-2. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(2), 104812. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104812>
- McBean, E. A., Salsali, H., Bhatti, M. A., & Huang, J. J. (2018). Beta-Blockers and Antidepressants : Contributions to Municipal Wastewaters from Hospitals and Residential Areas. *Journal of Environmental Science and Public Health*, 2(3), 144-159.
- MétéoSuisse. (2023). *Réseau de mesures automatiques*. MétéoSuisse. <https://www.meteosuisse.admin.ch/meteo/systemes-de-mesure/stations-au-sol/reseau-de-mesures-automatiques.html>
- Observatoire suisse de la santé. (2023). *Atlas suisse des services de santé*. <https://www.versorgungsatlas.ch/fr>
- OFS. (2019). *Enquête suisse sur la santé 2017* [Communiqué de presse]. <https://dam-api.bfs.admin.ch/hub/api/dam/assets/7486440/master>
- OFS. (2020). *Etablissements médico-sociaux* [Administration fédérale]. Office fédéral de la statistique. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiken/gesundheit/gesundheitswesen/alters-pflegeheime.html>

- OFS. (2021). *Portrait des communes* [Administration fédérale]. Office fédéral de la statistique. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiken/regionalstatistik/regionale-portraets-kennzahlen/gemeinden/gemeindeportraets.html>
- OFS. (2022a). *Offres des institutions médico-sociales selon la grande région et le canton de l'établissement, le type d'hébergement et le statut juridico-économique de l'établissement* [Administration fédérale]. Office fédéral de la statistique. <https://www.bfs.admin.ch/asset/fr/23624580>
- OFS. (2022b). *Scénarios pour la Suisse* [Administration fédérale]. Office fédéral de la statistique. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiken/bevoelkerung/zukuenftige-entwicklung/schweiz-szenarien.html>
- OFSP. (2020). *Chiffres-clés*. <https://www.bag.admin.ch/bag/fr/home/zahlen-und-statistiken/zahlen-fakten-zu-pflegeheimen/kennzahlen.html>
- OFSP. (2023). *Virus respiratoires* [Administration fédérale]. Office fédéral de la santé publique. <https://www.bag.admin.ch/bag/fr/home/krankheiten/ausbrueche-epidemien-pandemien/aktuelle-ausbrueche-epidemien/respiratorische-viren.html>
- OMS. (2023). *Produits pharmaceutiques et médicaments* [Organisation non gouvernementale]. World Health Organization - Regional Office for the Eastern Mediterranean. <http://www.emro.who.int/fr/health-topics/pharmaceutical-products/index.html>
- Pal, A., Gin, K. Y.-H., Lin, A. Y.-C., & Reinhard, M. (2010). Impacts of emerging organic contaminants on freshwater resources : Review of recent occurrences, sources, fate and effects. *Science of the Total Environment*, 408(24), 6062-6069. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.09.026>
- Papageorgiou, M., Kosma, C., & Lambropoulou, D. (2016). Seasonal occurrence, removal, mass loading and environmental risk assessment of 55 pharmaceuticals and personal care products in a municipal wastewater treatment plant in Central Greece. *Science of The Total Environment*, 543, 547-569. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.047>
- Petrie, B., Barden, R., & Kasprzyk-Hordern, B. (2015). A review on emerging contaminants in wastewaters and the environment: Current knowledge, understudied areas and recommendations for future monitoring. *Water Research*, 72, 3-27. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.08.053>
- Plagellat, C., Oriez, A., & Chèvre, N. (2021). *Micropolluants dans les eaux du Léman*. Commission internationale pour la protection des eaux du Léman.
- Santos, L. H. M. L. M., Gros, M., Rodriguez-Mozaz, S., Delerue-Matos, C., Pena, A., Barceló, D., & Montenegro, M. C. B. S. M. (2013). Contribution of hospital effluents to the load of pharmaceuticals in urban wastewaters: Identification of ecologically relevant pharmaceuticals. *Science of The Total Environment*, 461-462, 302-316. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.04.077>
- Sellier, A., Khaska, S., & Salle, C. L. G. L. (2022). Assessment of the occurrence of 455 pharmaceutical compounds in sludge according to their physical and chemical properties: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 426, 128104. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.128104>
- Swissmedic. (2023). *Institut suisse des produits thérapeutiques*. <https://www.swissmedic.ch/swissmedic/fr/home.html>
- TIBIO. (2023). *TIBIO Sagl*. TIBIO. <https://www.tibio.ch>

- Ulvi, A., Aydın, S., & Aydın, M. E. (2022). Fate of selected pharmaceuticals in hospital and municipal wastewater effluent: Occurrence, removal, and environmental risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(50), 75609-75625. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21131-y>
- Unisanté. (2023). *Unisanté–Acceuil*. Unisanté. <https://www.unisante.ch/fr/accueil>
- Verlicchi, P. (2018). Pharmaceutical Concentrations and Loads in Hospital Effluents: Is a Predictive Model or Direct Measurement the Most Accurate Approach? In P. Verlicchi (Éd.), *Hospital Wastewaters: Characteristics, Management, Treatment and Environmental Risks* (Vol. 60, p. 101-133). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/698\\_2016\\_24](https://doi.org/10.1007/698_2016_24)
- Wiest, L., Chonova, T., Bergé, A., Baudot, R., Bessueille-Barbier, F., Ayouni-Derouiche, L., & Vulliet, E. (2018). Two-year survey of specific hospital wastewater treatment and its impact on pharmaceutical discharges. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(10), 9207-9218. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9662-5>
- Wu, S., Zhang, L., & Chen, J. (2012). Paracetamol in the environment and its degradation by microorganisms. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 96(4), 875-884. <https://doi.org/10.1007/s00253-012-4414-4>
- Wunderlin, P., Meier, A., & Grelot, J. (2018). Élimination des micropolluants dans les STEP—État actuel des procédés et évolutions futures. *Aqua & Gas*, 1, 48-58.
- Zhou, S., Di Paolo, C., Wu, X., Shao, Y., Seiler, T.-B., & Hollert, H. (2019). Optimization of screening-level risk assessment and priority selection of emerging pollutants - The case of pharmaceuticals in European surface waters. *Environment International*, 128, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.04.034>

## 9 Annexes

### 9.1 Protocole laboratoire (TIBIO, 2023)

# Analyse de Micropolluants

## Introduction

Les micropolluants organiques sont des substances synthétiques qui se trouvent dans pratiquement tous les produits utilisés dans notre vie quotidienne. Ils sont susceptibles, parfois à des concentrations très faibles déjà, d'avoir des effets néfastes sur l'être humain et l'environnement. Leur présence dans les milieux naturels n'est pas nouvelle, mais a été mise en évidence par le développement récent de méthodes analytiques, qui en ont grandement facilité la détection en ultra trace ces dernières années. De nouvelles substances sont de ce fait régulièrement décelées dans les eaux de surface, les eaux souterraines et les organismes vivants, où, pour certaines, elles se concentrent au long du processus de la chaîne alimentaire.

## Principe

### Conditions analytiques

<b>Appareil</b>	Agilent LC-MS/MS
<b>Loop</b>	100 µl
<b>Injection</b>	100 µl
<b>Colonne</b>	Poroshell EC-C18 120
<b>Eluant A</b>	H2O - ACN (98 : 2) + 0.1% Acide formique
<b>Eluant B</b>	ACN - H2O (98 : 2) + 0.1% Acide formique
<b>Eluant C</b>	-
<b>Flow</b>	0.3ml/min
<b>Température</b>	40°C
<b>Temps d'analyse</b>	13 min
<b>Préparation liquides</b>	Injection directe pour les eaux propres
<b>Préparation solides</b>	Analyse sur un lixiviat
<b>ISTD</b>	
<b>Molécules</b>	
<b>Méthode d'analyse</b>	
<b>Remarque</b>	

## Appareils et réactifs

### Matériel Tube Falcon 50 ml

- Tubes en plastique 10 ml
- Vials 2 ml pour injection

### Réactifs

- Méthanol pour LC-MS (par exemple : Honeywell Chromasolv 34966-2.5L)

### Eluants

	<b>Eau [ml]</b>	<b>ACN [ml]</b>	<b>Acide formique [ml]</b>
H2O - ACN (98 : 2) + 0.1% Acide formique	980	20	1
ACN - H2O (98 : 2) + 0.1% Acide formique	50	2'500	2.5

### Préparation des échantillons d'eau

- Dans un tube en plastique de 10ml ajouter 50µl de SU mix 10ppb/100ppb
- Pour les dilutions de 5x, Filtrer 2ml d'échantillon et compléter à 10ml avec de l'eau Evian
- Filtrer l'échantillon sur PTFE 0.45µm et compléter à 10ml
- Tranvaser dans des vials de 1.5ml (remplir jusqu'au début du col)
- Installer selon la séquence dans l'auto-sampler

Pour le recovery : Ajouter 100µl du std Mix - Micpol 407-Composés 10ppb

### Contrôle de qualité

La séquence d'échantillons est établie en tenant compte du contrôle de qualité :

- un blanc de méthode par séquence
- un check sample en début et fin de séquence, ainsi que tous les 10 échantillons
- un duplicat par 10 échantillons ou au minimum un par série
- un ajout dosé par 20 échantillons ou au minimum un par série

## 9.2 Classification *Anatomical Therapeutic Chemical* (ATC)

<b>Lettre</b>	<b>Anatomie correspondante</b>
A	Système digestif et métabolisme
B	Sang et organes hématopoïétiques
C	Système cardio-vasculaire
D	Dermatologie
G	Système génito-urinaire et hormones sexuelles
H	Hormones systémiques, à l'exclusion des hormones sexuelles et des insulines
J	Anti-infectieux (usage systémique)
L	Antinéoplasiques et agents immunomodulants
M	Système musculo-squelettique
N	Système nerveux
P	Antiparasitaires, insecticides et répulsifs
R	Système respiratoire
S	Organes sensoriels
V	Divers

### 9.3 Consommation annuelle des principes actifs de l'EMS La Rosière

Les substances sont listées dans l'ordre décroissant. Pour des raisons de confidentialité, les masses exactes ne sont pas détaillées. Les données à disposition couvrent de 2018 à 2021. Pour garder l'ordre, reprendre la colonne de la même page pour la suite.

Code ATC	Nom de la substance	Code ATC	Nom de la substance
A06AD65	macrogol, combinaisons	A02BC02	Pantoprazole
C05BA53	heparin, combinaisons	N03AX09	Lamotrigine
N02BE01	Paracetamol	J01DD04	Ceftriaxone
A11CC05	Colecalciferol	N03AF01	Carbamazepine
A12AX	Calcium, combinaisons with vitamin D and/or other drugs	J01EE01	sulfamethoxazole and trimethoprim
V03AE01	polystyrene sulfonate	M01AX25	chondroitin sulfate
A10BA02	Metformin	A12CC08	magnesium pidolate
N05CM02	Clomethiazole	A12BA01	potassium chloride
N03AX14	Levetiracetam	B05BA03	Carbohydrates
B03AB05	ferric oxide polymaltose complexes	A06AB08	sodium picosulfate
N05AH04	quetiapine	D01AC08	Ketoconazole
N03AG01	valproic acid	A07FA02	saccharomyces boulardii
A11DA01	thiamine (vit B1)	C08DB01	Diltiazem
A06AD61	lactulose, combinaisons	N05AH02	Clozapine
N04BA02	levodopa and decarboxylase inhibitor	C10AA05	Atorvastatin
N05CX99	Valeriane + autres	C07AA07	Sotalol
N06AX05	trazodone	C09DA04	irbesartan and diuretics
J01DC02	cefuroxime	C05CA53	diosmin, combinaisons
C09CA04	irbesartan	N06DX02	Ginkgo folium
R05CB01	acetylcysteine	J01MA02	Ciprofloxacin
C01BD07	dronedarone	B01AC04	Clopidogrel
N06AB06	sertraline	J01XE01	Nitrofurantoin
J01CR02	amoxicillin and beta-lactamase inhibitor	G04BD02	Flavoxate
M04AA01	allopurinol	N02AX02	Tramadol
C07AB02	metoprolol	B01AF01	Rivaroxaban
J01XX01	fosfomycin	C08DA01	Verapamil
N03AX16	pregabalin	J05AB11	Valaciclovir
B03AD04	ferric oxide polymaltose complexes	N02BB02	metamizole sodium
A12CC05	magnesium aspartate	J01FF01	Clindamycin
N02AJ06	codeine and paracetamol	N03AX18	Lacosamide
N06AX11	mirtazapine	C09DA03	valsartan and diuretics
A02BC05	esomeprazole	J01CA04	Amoxicillin
C03CA04	torasemide	A10AE04	insulin glargine
B03BA01	cyanocobalamin	A02BC02	Pantoprazole
A10BD07	metformin and sitagliptin	N03AX09	Lamotrigine
C09DA03	valsartan and diuretics	C09CA06	Candesartan
J01CA04	Amoxicillin	B03BB01	folic acid
A10AE04	insulin glargine	B01AC06	acetylsalicylic acid
M01AE01	Ibuprofen	B01AF02	apixaban

N05BA04	Oxazepam	N05AD01	haloperidol
B01AE07	dabigatran etexilate	C09CA01	losartan
A10BH01	Sitagliptin	H05BX01	cinacalcet
A12CC04	magnesium citrate	C07AB07	bisoprolol
C10AA01	simvastatin	R06AB54	chlorphenamine, combinations
A11EA	Vitamin B-complex, plain	A12CC10	magnesium oxide
C09AA03	lisinopril	N05BA06	lorazepam
N05CD01	flurazepam	N05CF02	zolpidem
N06AB10	escitalopram	H03BB01	carbimazole
A10AC01	insulin (human)	C09AA02	enalapril
J01CR05	piperacillin and beta-lactamase inhibitor	C07AA05	propranolol
N02AJ13	tramadol and paracetamol	R03BB04	tiotropium bromide
A02AD02	magaldrate	C07AB03	atenolol
C08CA01	amlodipine	N06DA03	rivastigmine
C08CA05	nifedipine	R06AX27	desloratadine
C10AA03	pravastatin	C09DX04	valsartan and sacubitril
C03DA01	spironolactone	N05BA05	potassium clorazepate
C09CA03	valsartan	N06AB05	paroxetine
C09CA07	telmisartan	J01MA12	levofloxacin
H02AB07	prednisone	C05BA01	organo-heparinoid
N06AX21	duloxetine	C01DA02	glyceryl trinitrate
N02AA01	morphine	B03AE10	various combinations
A03AX13	silicones	N06AA09	amitriptyline
A12AA04	calcium carbonate	N05AX08	risperidone
A05AA02	ursodeoxycholic acid	A10AE05	insulin detemir
G04CX02	Sabalis serrulatae fructus	B01AA07	acenocoumarol
N06AX16	venlafaxine	J01DD13	cefepodoxime
C03CA01	furosemide	A10BH05	linagliptin
N06DX01	memantine	N05CF01	zopiclone
P01AB01	metronidazole	M02AA15	diclofenac
J01DH03	ertapenem	N05AH03	olanzapine
A12BA30	potassium (different salts in combination)	A03FA03	domperidone
N02AA05	oxycodone	J01AA02	doxycycline
C09CA08	olmesartan medoxomil	R03AL02	salbutamol and ipratropium bromide
C01CA17	midodrine	J01MA06	norfloxacin
A03FA01	metoclopramide	N06AX26	vortioxetine
N01BB02	lidocaine	J01XC01	fusidic acid
A10AE56	insulin degludec and liraglutide	G04BD12	mirabegron
C01BD01	amiodarone	R06AX26	fexofenadine
N03AB02	phenytoin	A01AB12	hexetidine
H03BA02	propylthiouracil	N06DA02	donepezil
A10AB05	insulin aspart	J05AB09	famciclovir
C09DA08	olmesartan medoxomil and diuretics	C01DX16	nicorandil
D06BB03	aciclovir	R06AX29	bilastine
N05AX12	aripiprazole	R06AE07	cetirizine
M05BA04	alendronic acid	B02BA01	phytomenadione
A02BX02	sucralfate	D06AX01	fusidic acid

R03AK07	formoterol and budesonide	N05BA08	bromazepam
A07EA06	budesonide	D03AX03	dexpanthenol
R05CA12	Hederae heliis folium	R06AA02	diphenhydramine
J01MA14	moxifloxacin	D07CC01	betamethasone and antibiotics
G01AX12	ciclopirox	A06AG11	sodium lauryl sulfoacetate, incl. combinations
C10AA07	rosuvastatin	J02AC01	fluconazole
J05AH02	oseltamivir	G04CA02	tamsulosin
G04CB01	finasteride	H03AA01	levothyroxine sodium
A10AD06	insulin degludec and insulin aspart	L01BC02	fluorouracil
A10AB04	insulin lispro	A01AB09	miconazole
G04BD11	fesoterodine	A07DA03	loperamide
A06AB56	senna glycosides, combinations	R06AE55	meclozine, combinations
B02BX01	etamsylate	N07AA03	distigmine
R03DC03	montelukast	B03XA02	darbepoetin alfa
C03BA08	metolazone	N05BB01	hydroxyzine
A07FA01	lactic acid producing organisms	A06AG01	sodium phosphate
N05AF05	zuclopenthixol	S01AE01	ofloxacin
S01XA20	artificial tears and other indifferent preparations	N05BA12	alprazolam
N03AE01	clonazepam	S01ED51	timolol, combinations
N04AA02	biperiden	R03BA02	budesonide
B01AB06	nadroparin	M05BX04	denosumab
L04AB04	adalimumab	N07CA01	betahistine
S01XA03	sodium chloride, hypertonic	S02CA03	hydrocortisone and antiinfectives
A07AA09	vancomycin	A03BA01	atropine
N04BC05	pramipexole	D01AE16	amorolfine
G04BD09	tropium	N02AB03	fentanyl
B05BB01	electrolytes	R03AC02	salbutamol
B01AB05	enoxaparin	R02AA05	chlorhexidine
G04BD08	solifenacin	C05AD04	cinchocaine
R05DA09	dextromethorphan	D01AC03	econazole
R01AA07	xylometazoline	R06AE09	levocetirizine
D08AC02	chlorhexidine	N02AE01	buprenorphine
D08AC52	chlorhexidine, combinations	G04CA52	tamsulosin and dutasteride
C01DA08	isosorbide dinitrate	A01AA01	sodium fluoride
C08CA13	lercanidipine	B01AB01	heparin
B01AA04	phenprocoumon	A10BJ05	dulaglutide
R02AB02	tyrothricin	D01AC01	clotrimazole
A10AB01	insulin (human)	N07AA51	neostigmine, combinations
C01DX12	molsidomine	D06BB10	imiquimod
C09AA04	perindopril	C01AA05	digoxin
C09BB04	perindopril and amlodipine	H02AB04	methylprednisolone
M04AC01	colchicine	D07AC01	betamethasone
C03BA11	indapamide	S01AE07	moxifloxacin
S01EC54	brinzolamide, combinations	R03AK06	salmeterol and fluticasone
A07AA02	nystatin	L02AE02	leuprorelin
R03AL04	indacaterol and glycopyrronium bromide	D09AA02	fusidic acid

N01BB20	combinations	S01AE03	ciprofloxacin
S01ED01	timolol	C05AA10	fluocinolone acetonide
H02AA02	fludrocortisone	B03XA01	erythropoietin
G03CA04	estriol	S01AX08	hexamidine
S01BA04	prednisolone	S01BC11	bromfenac
A06AB58	sodium picosulfate, combinations	R03AC12	salmeterol
L02AE03	goserelin	S01GX09	olopatadine
D07BC99	Halometasone + triclosan	S01FA06	tropicamide
S01BA01	dexamethasone	M05BA08	zoledronic acid
S01EE01	latanoprost	D07AB02	hydrocortisone butyrate
S01AA12	tobramycin	S01GX08	ketotifen
R01AX03	ipratropium bromide	C01CA24	epinephrine
S01EA05	brimonidine	A01AC01	triamcinolone
S01BC01	indometacin	R03BB01	ipratropium bromide
A10BJ06	semaglutide	H04AA01	glucagon
S01EE04	travoprost	A06AD12	lactitol
D11AH01	tacrolimus		

## 9.4 Données brutes de l'échantillonnage

Échantillon	Substance	Concentration [ng/l]	Échantillon	Substance	Concentration [ng/l]
A1	Amisulpride	<20	B1	Paracétamol	92'100
A1	Clindamycine	<20	B1	Propranolol	24
A1	Metformine	645'000	B1	Sotalol	193
A1	Métoprolol	9'770	B1	Tramadol	346
A1	Paracétamol	24'400	B1	Triméthoprim	99
A1	Propranolol	18	B1	Venlafaxine	140
A1	Sotalol	4'460	B2	Amisulpride	3'430
A1	Tramadol	29	B2	Clindamycine	<20/<20
A1	Triméthoprim	56	B2	Metformine	136'000
A1	Venlafaxine	<50	B2	Métoprolol	1'200/1'090
A2	Amisulpride	<20	B2	Paracétamol	143'000
A2	Clindamycine	<20	B2	Propranolol	51
A2	Metformine	270'000	B2	Sotalol	404/389
A2	Métoprolol	9'760	B2	Tramadol	373/346
A2	Paracétamol	8'460	B2	Triméthoprim	137/121
A2	Propranolol	24	B2	Venlafaxine	250
A2	Sotalol	3'010	B3	Amisulpride	3'800
A2	Tramadol	28	B3	Clindamycine	<20
A2	Triméthoprim	63	B3	Metformine	185'000
A2	Venlafaxine	<50	B3	Métoprolol	1'270
A3	Amisulpride	<20	B3	Paracétamol	93'800
A3	Clindamycine	<20	B3	Propranolol	70
A3	Metformine	174'000	B3	Sotalol	297
A3	Métoprolol	4'980	B3	Tramadol	303
A3	Paracétamol	32'500	B3	Triméthoprim	119
A3	Propranolol	17	B3	Venlafaxine	284
A3	Sotalol	4'470	B4	Amisulpride	2'200
A3	Tramadol	24	B4	Clindamycine	<20
A3	Triméthoprim	53	B4	Metformine	160'000
A3	Venlafaxine	<50	B4	Métoprolol	1'360
B1	Amisulpride	1630	B4	Paracétamol	129'000
B1	Clindamycine	<20	B4	Propranolol	55
B1	Metformine	106'000	B4	Sotalol	278
B1	Métoprolol	1'160	B4	Tramadol	316

B4	Triméthoprim	164	C1	Sotalol	351
B4	Venlafaxine	147	C1	Tramadol	247
B5	Amisulpride	4'550	C1	Triméthoprim	114
B5	Clindamycine	<20	C1	Venlafaxine	157
B5	Metformine	147'000	C2	Amisulpride	1'330
B5	Métoprolol	1'260	C2	Clindamycine	<20
B5	Paracétamol	83'500	C2	Metformine	6'370
B5	Propranolol	55	C2	Métoprolol	420
B5	Sotalol	426	C2	Paracétamol	<50
B5	Tramadol	503	C2	Propranolol	34
B5	Triméthoprim	249	C2	Sotalol	380
B5	Venlafaxine	278	C2	Tramadol	265
B6	Amisulpride	2'410	C2	Triméthoprim	112
B6	Clindamycine	<20	C2	Venlafaxine	195
B6	Metformine	145'000	C3	Amisulpride	1540
B6	Métoprolol	1'030	C3	Clindamycine	<20
B6	Paracétamol	76'300	C3	Metformine	9'090
B6	Propranolol	47	C3	Métoprolol	511
B6	Sotalol	423	C3	Paracétamol	<50
B6	Tramadol	400	C3	Propranolol	45
B6	Triméthoprim	185	C3	Sotalol	367
B6	Venlafaxine	217	C3	Tramadol	243
B7	Amisulpride	1680	C3	Triméthoprim	103
B7	Clindamycine	<20	C3	Venlafaxine	199
B7	Metformine	107'000	C4	Amisulpride	1460
B7	Métoprolol	1'280	C4	Clindamycine	<20/<20
B7	Paracétamol	120'000	C4	Metformine	8'640
B7	Propranolol	63	C4	Métoprolol	474
B7	Sotalol	216	C4	Paracétamol	<50/<50
B7	Tramadol	219	C4	Propranolol	59/71
B7	Triméthoprim	107	C4	Sotalol	421/382
B7	Venlafaxine	318	C4	Tramadol	190/207
C1	Amisulpride	966	C4	Triméthoprim	86/97
C1	Clindamycine	<20	C4	Venlafaxine	184
C1	Metformine	8'720	C5	Amisulpride	1'270
C1	Métoprolol	430	C5	Clindamycine	<20
C1	Paracétamol	<50	C5	Metformine	7'050
C1	Propranolol	34	C5	Métoprolol	464

C5	Paracétamol	<50	C6	Metformine	11'000
C5	Propranolol	44	C6	Métoprolol	397
C5	Sotalol	386	C6	Paracétamol	<50
C5	Tramadol	246	C6	Propranolol	38
C5	Triméthoprim	104	C6	Sotalol	443
C5	Venlafaxine	189	C6	Tramadol	230
C6	Amisulpride	1'150	C6	Triméthoprim	140
C6	Clindamycine	<20	C6	Venlafaxine	135

## 9.5 Statistiques des concentrations des substances par site

<b>Substance</b>	<b>Site</b>	<b>Min [µg/l]</b>	<b>Max [µg/l]</b>	<b>Moyenne [µg/l]</b>	<b>Écart- type</b>	<b>Médiane [µg/l]</b>
amisulpride	A	NA	NA	NA	NA	NA
amisulpride	B	1.63	4.55	3.003	1.104	2.92
amisulpride	C	0.966	1.54	1.286	0.209	1.3
clindamycine	A	NA	NA	NA	NA	NA
clindamycine	B	NA	NA	NA	NA	NA
clindamycine	C	NA	NA	NA	NA	NA
metformine	A	174	645	363	248.892	270
metformine	B	106	185	146.5	26.144	146
metformine	C	6.37	11	8.478	1.631	8.68
métoprolol	A	4.98	9.77	8.17	2.763	9.76
métoprolol	B	1.03	1.36	1.213	0.113	1.23
métoprolol	C	0.397	0.511	0.449	0.041	0.447
paracétamol	A	8.46	32.5	21.787	12.231	24.4
paracétamol	B	76.3	143	102.95	26.73	92.95
paracétamol	C	NA	NA	NA	NA	NA
propranolol	A	0.017	0.024	0.02	0.004	0.018
propranolol	B	0.024	0.07	0.05	0.015	0.053
propranolol	C	0.034	0.071	0.044	0.014	0.041
sotalol	A	3.01	4.47	3.98	0.84	4.46
sotalol	B	0.193	0.426	0.337	0.096	0.351
sotalol	C	0.351	0.443	0.391	0.034	0.383
tramadol	A	0.024	0.029	0.027	0.003	0.028
tramadol	B	0.303	0.503	0.374	0.073	0.36
tramadol	C	0.207	0.265	0.24	0.02	0.244
triméthoprim	A	0.053	0.063	0.057	0.005	0.056
triméthoprim	B	0.099	0.249	0.159	0.054	0.151
triméthoprim	C	0.097	0.14	0.112	0.015	0.108
venlafaxine	A	NA	NA	NA	NA	NA
venlafaxine	B	0.14	0.284	0.219	0.063	0.233
venlafaxine	C	0.135	0.199	0.176	0.025	0.186

## 9.6 Micropolluants en STEP de Gimel

### Mesures de micropolluants en entrée et sortie de STEP de Gimel (Chollet, 2021)

Afin de mieux protéger les eaux, le Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC) a adapté l'ordonnance sur la protection des eaux (OEaux). Comme jusqu'à présent, les pesticides ne devront pas dépasser la teneur de 0,1 microgramme par litre dans les lacs, les ruisseaux et les rivières exploités pour alimenter le réseau d'eau potable

<https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/eaux/info-specialistes/revision-der-gewaesserschutzverordnung.html>

S'agissant des eaux qui ne sont pas exploitées comme eau potable, l'ordonnance vise la protection des organismes aquatiques. En principe, la valeur limite de 0,1 microgramme par litre doit être respectée dans ces eaux

OK < 0.1 mug/l
0.1 < Conc < 0.4
0.4 < Conc < 0.8
0.8 < Conc < 1.2
1.2 < Conc < 2.0
2.00 < Conc < 5.00
5.00 < Conc

#### Micropolluants indicateurs d'efficacité STEP ■ Catégorie 1

	in [mug/L]	out [mug/L]	Abattement %	Moyenne VD [mug/L]	Max VD [mug/L]	Abattement %	Performance STEP vs VD	Objectif OFEN vs VD	Objectif OFEN vs STEP	Step vs VD
Amisulpride Médicament	nd	nd		0.37	1.41	27				++
Carbamazépine Médicament	0.022	0.077		0.36	1.9	22				++
Citalopram Médicament	0.11	0.035	68	0.18	0.46	23	3.0			++
Clarithromycine Médicament	<0.020	<0.005		0.23	1.11	34	0.0			++
Diclofénac Médicament	1.294	0.916	29	4.33	205	34	0.9			+++
Hydrochlorothiazide Médicament	0.859	0.934		1.46	2.95	16	0.0			==
Métoprolol Médicament	0.67	0.181	73	0.58	1.32	29	2.5			+
Venlafaxin Médicament	0.152	0.2		0.24	0.61	22	0.0			==

#### Micropolluants indicateurs d'efficacité STEP - Catégorie 2

	in [mug/L]	out [mug/L]	Abattement %	Moyenne VD [mug/L]	Max VD [mug/L]	Abattement %	Performance STEP vs VD	Objectif OFEN vs VD	Objectif OFEN vs STEP	Step vs VD
4 et 5-méthylbenzotriazole Produit industriel	1.211	0.486	60	1.87	12.13	30	2.0			++
Benzotriazole Produit industriel	4.198	2.027	52	9.2	290	32	1.6			++
Candésartan Médicament	0.174	0.226		0.55	1.46	16	0.0			+
Irbésartan Médicament	1.114	1.687		2.15	5.03	18	0.0			+

#### Autres micropolluants des STEP page 1

	in [mug/L]	out [mug/L]	Abattement %	Moyenne VD [mug/L]	Max VD [mug/L]	Abattement %	Performance STEP vs VD	Objectif OFEN vs VD	Objectif OFEN vs STEP	Step vs VD
Acetamidoantipyrine Médicament	0.734	0.724		1.21	3.81	18	0.0			+
Acétylsulfaméthoxazole Médicament	<0.040	0.021		0.11	0.99		0.0			+
Acide méfénamique Médicament	0.39	0.066	83	0.51	5.82	55	1.5			++
Aténolol Médicament	0.247	0.049	80	0.48	1.19	48	1.7			++
Bézafrate Médicament	nd	nd		0.19	0.83	57	0.0			+
Carbendazime Pesticide	<0.050	<0.013		0.36	1.9	22	0.0			+

## Autres micropolluants des STEP page 2

	in (µg/L)	out (µg/L)	Abattement %	Moyenne VD (µg/L)	Max VD (µg/L)	Abattement %	Performance STEP vs VD	Objectif OFEN vs VD	Objectif OFEN vs STEP	Step vs VD
X Clindamycine Médicament	0.02	0.016	24	0.04	0.18	28	0.9			==
DEET Biocide	0.795	0.044	95	0.5	6.57	70	1.4			++
Diazino Pesticide	<0.005	0.001		0.02	1.5	35	0.0			==
Diuron Pesticide	0.034	0.013	63	0.18	7.57	40	1.6			+
Flécaïnide Médicament	nd	<0.010								
Gabapentine Médicament	2.566	0.757	71	2.12	9.25	27	2.6			++
Gemfibrozile Médicament	nd	nd		0.08	0.74	56	0.0			==
Ibuprofène Médicament	4.132	0.054	99	0.73	7.61	91	1.1			++
Ketoprofen Médicament	0.103	nd	100	0.14	0.27	40	2.5			+
Lamotrigim- Médicament	0.433	1.084								
Metformine Médicament	64.3	2.545	96	20.7	102	73	1.3			++
Imirtazapine Médicament	0.081	0.042	48	0.05	0.27	32	1.5			==
Naproxène Médicament	1.493	0.248	83	0.78	2.45	59	1.4			++
Clonazépam Médicament	0.251	0.339								
X Paracétamol Médicament	80.935	nd	100	0.16	6.15	100	1.0			+
Pravastatine Médicament	nd	nd		0.22	1.2	59	0.0			+
Primidone Médicament	nd	nd		0.11	1.5	28	0.0			+
X Propranoïol Médicament	0.038	0.037	3	0.06	0.16	22	0.1			==
X Sotalol Médicament	0.089	0.097		0.33	0.95	18	0.0			+
Sulfaméthazine Médicament vétérinaire	nd	nd								
Sulfaméthoxazole Médicament	<0.030	0.045		0.31	1.68	51	0.0			+
Sulfapyridine Médicament	nd	nd		0.06	0.38	53	0.0			==
X Tramadol Médicament	0.225	0.163	28							
X Trilméthoprim Médicament	0.012	0.007	45	0.16	0.62	32	1.4			+

### Résumé

Sur 37 micropolluants mesurés et comparés au document VD "Bilans\_de\_l'épuration\_2017", les résultats de l'analyse montrent que dans tous les cas, les résultats sont meilleurs ( 29) ou équivalents ( 8). En outre, 25 répondent aux objectifs de l'OFEN, à savoir moins de 0.1 µg/l.

Dans 16 cas, la performance d'abattement surpasse celle observée dans les STEP vaudoises en 2017. total des comparaisons (19)

Et dans ces cas, la concentration des polluants est très inférieure à 0.1 µg/l sauf pour le Diclofénac (Médicament) où l'on obtient un abattement de 29% contre 34%

## 9.7 Plaquette de présentation du BioCat+ (Chollet, 2023)

Jean-Daniel Chollet  
Bsc. Agricultural Engineering

jd.chollet@adenosine.ch  
Tel : (+41) 079 394 37 68

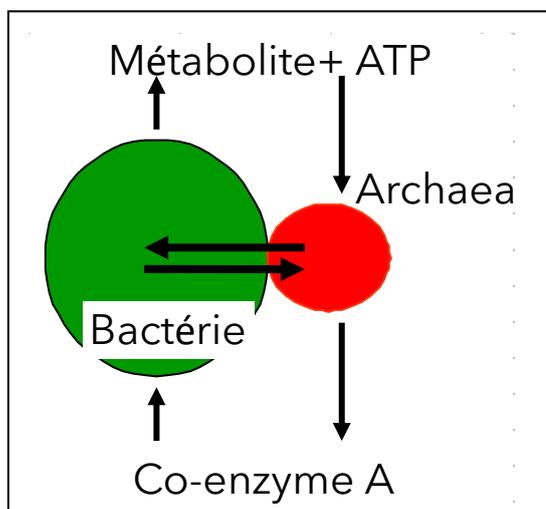
### Qu'est-ce que BioCat+

**BioCat+** est une solution bioactive issue du processus de fermentation de plantes, incluant des organismes marins. BioCat+ a été développé à partir d'années d'expérimentations et de recherches.

**BioCat+** est un cocktail de microorganismes, d'éléments nutritifs, de cofacteurs et de phages. Microorganismes incluant des bactéries, crenarchaeota et euryarchaeota de source marine et terrestre. La plupart des espèces ne sont pas identifiables, ne pouvant être cultivées séparément, mais leur groupe peut être déterminé par une analyse ARN.

**BioCat+** améliore la performance des microorganismes indigènes. Les produits issus de la fermentation, les éléments nutritifs et les cofacteurs favorisent leurs métabolismes. Un élément unique de BioCat+ ne peut être considéré comme le facteur actif. C'est la synergie des composants de BioCat+ et de la biosphère où il est appliqué qu'il faut voir dans son ensemble.

### Comment BioCat+ agit-il ?



Les bactéries dégradent la matière organique et libèrent des ATP. Les archées se nourrissent des métabolites des bactéries et des ATP en produisant des co-enzymes A qui servent à leurs tours aux bactéries.

Cette relation syntrophique est favorable aux 2 groupes de microorganismes. Par l'élimination des métabolites des bactéries (souvent toxiques pour elles même) et la fourniture des co-enzymes A, l'apport des archées peut améliorer le processus biologique par un facteur 3.

Lors de l'étude réalisée par le HEI d'Yverdon sur l'augmentation de la production de biogaz avec l'utilisation de Biocat+, une amélioration du taux d'ATP a été mesurée. Le BSI (ratio entre les ATP disponibles et captifs) des échantillons témoins était de 14.8% alors qu'il était de 8.2% pour les échantillons traités avec Biocat+. Les conditions de test étaient considérées par les HEI comme proche de l'idéal, peu ou pas d'amélioration était attendue.