

# Workshop micropolluants/ Mikroschadstoffe

8.12.2022



# Les micropolluants / Mikroschadstoffe



147 tonnes de micropolluants rejetés chaque année par les STEP françaises / 147 Tonnen Mikroschadstoffe werden jedes Jahr von französischen KA eingeleitet

Source / Quelle : Water Research - 2021

Au moins **150 millions de tonnes de déchets plastiques** dans les océans / Mindestens 150 Millionen Tonnen Plastikmüll in den Ozeanen

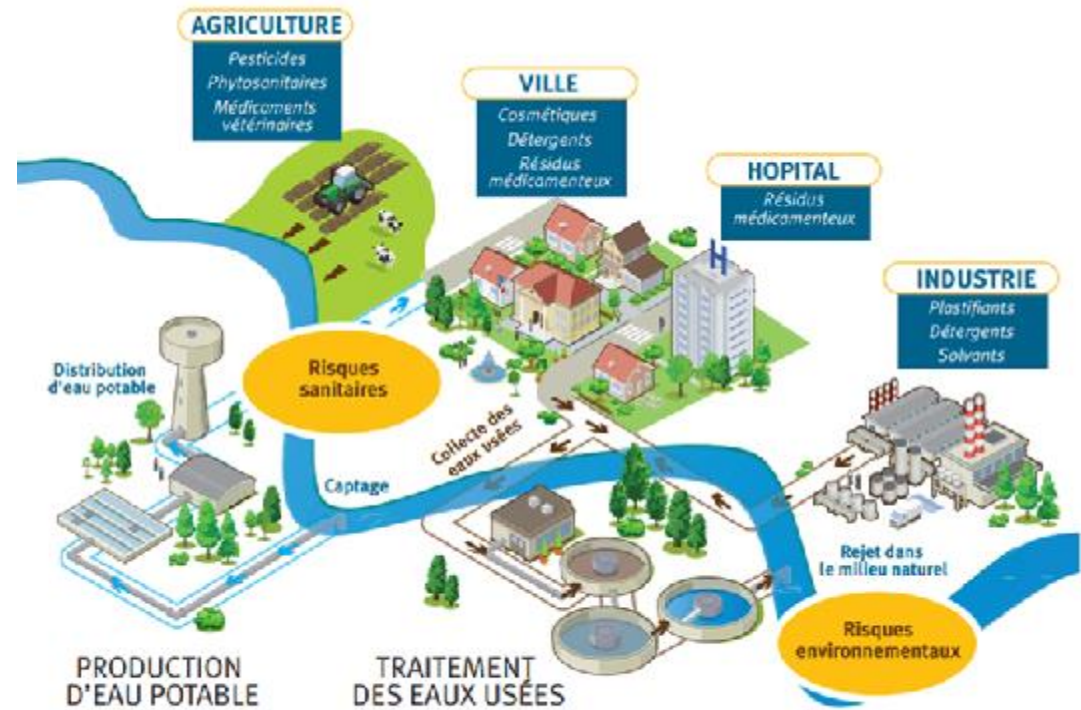
Source / Quelle : [www.natura-sciences.com](http://www.natura-sciences.com)

Des résidus médicamenteux dans des lacs de montagnes : 151 molécules chimiques retrouvés dans des lacs d'altitude / Medikamentenrückstände in Bergseen: 151 chemische Moleküle in hochgelegenen Seen gefunden

Source / Quelle : [www.graie.org/destinationsante.com](http://www.graie.org/destinationsante.com)



# Où agir? / Wo kann man handeln?



# Plan d'action / Aktionsplan HYDREOS - AERM

## Objectifs / Ziele :

Sensibiliser 2 types d'acteurs / Sensibilisierung von 2 Arten von Akteuren :

1. Les **collectivités**, sur des sujets en lien avec les pollutions émergentes, **plastiques** et **micropolluants médicamenteux** / **Kommunen**, zu Themen Kunststoffen und **Mikroschadstoffe durch Arzneimittel** usw.
2. Les **industriels**, pour les soutenir dans leur démarche pour améliorer leur gestion de l'eau / Industrieunternehmen, um sie bei der Verbesserung ihres Wassermanagements zu unterstützen

→ INNOVATION







**1ère partie / 1. Teil (1/2)**

**Retour d'expérience de  
collectivités /  
Praxiserfahrungen von  
Verbandsgemeinden bzw.  
Stadtwerken**

**Eurométropole de Strasbourg**  
**→ cf. PDF**

A decorative vertical bar on the left side of the slide. It features a blue and white water texture. There are two circular cutouts: the top one is empty, and the bottom one shows a close-up of water splashing.

**1ère partie / 1. Teil (2/2)**

**Retour d'expérience de  
collectivités /  
Praxiserfahrungen von  
Verbandsgemeinden bzw.  
Stadtwerken**

**SDEA**

# Détection de micropolluants en entrée/sortie de stations d'épuration et en rivières

## Couplage screening de molécules et bioessais

Atelier « Gestion des micropolluants » - METZ – 08 décembre 2022



Syndicat des Eaux et de l'Assainissement  
Alsace-Moselle



Agnès MASSON

# Le Syndicat des Eaux et de l'Assainissement Alsace-Moselle : Un outil de coopération intercommunale spécialisée



Du petit au grand cycle de l'eau pour répondre aux besoins des territoires sur les départements d'Alsace - Moselle et à l'évolution des enjeux

## Petit cycle de l'eau

### Eau potable

depuis  
**1939**

**410**  
communes membres

- la production
- le transport
- la distribution d'eau potable

### Assainissement

depuis  
**1958**

**525**  
communes membres

- la collecte
- le transport
- le traitement des eaux usées et pluviales
- l'assainissement non collectif (ANC)

## Grand cycle de l'eau

depuis  
**2015**

**661**  
communes membres

- la gestion des milieux aquatiques
- la prévention des inondations
- la lutte contre l'érosion des sols
- l'animation-concertation sur les bassins versants



  
**737**  
communes

  
**1 070 000**  
habitants



**Budget global 2020 de 300 M€ - 700 salariés - 100 métiers**

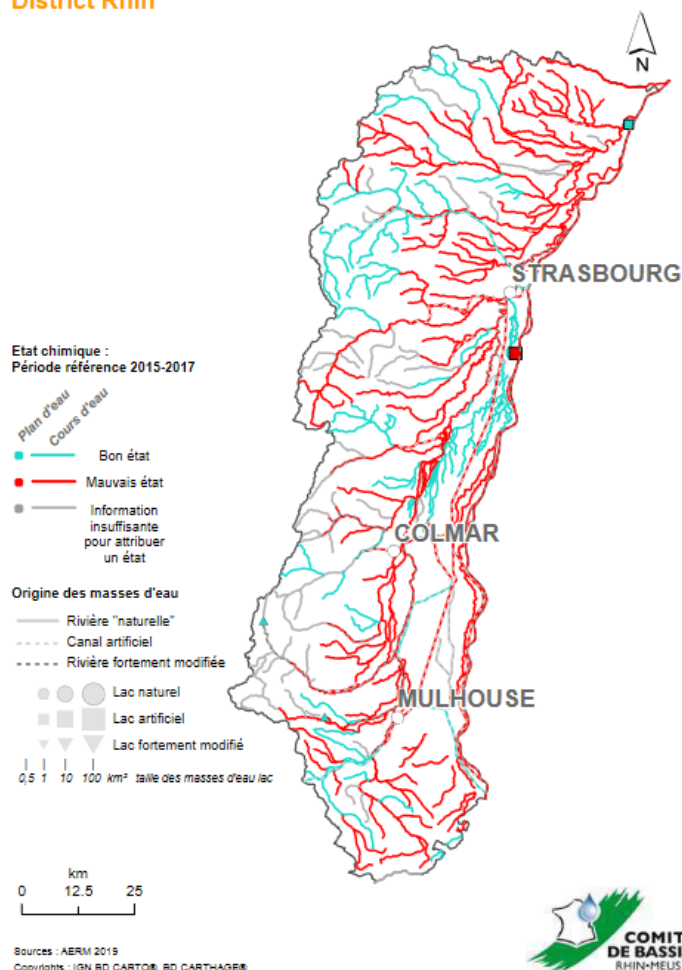


# Enjeux de la recherche de substances dangereuses dans l'eau



## Etat chimique actuel des masses d'eau de surface

Secteur de travail Rhin supérieur  
District Rhin



## Enjeux réglementaires :

Objectifs environnementaux fixés par la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) pour une réduction/suppression progressive de substances dangereuses dans l'eau – déclinés dans le SDAGE Rhin-Meuse

Démarrage action de Réduction des Substances Dangereuses pour l'Eau (RSDE I) en 2002 → **note technique 12 août 2016** (RSDE III) abrogée → **nouvelle note technique du 24 mars 2022**

## Enjeux sanitaires et environnementaux :

Effets nocifs sur la santé humaine & environnementale avérés ou suspectés même à de faibles concentrations

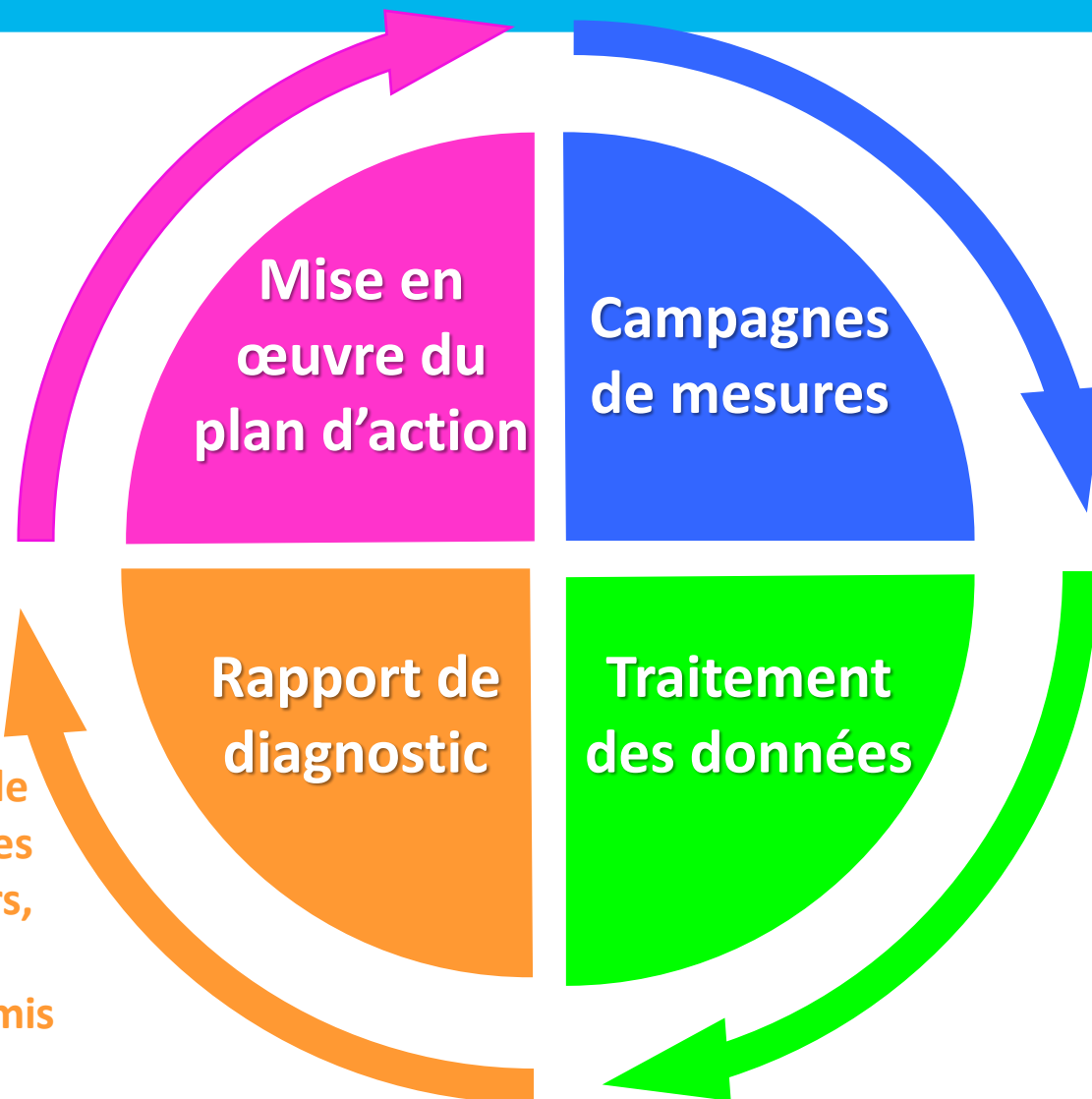
→ Démarche RSDE : Opportunité de renforcer le rôle du SDEA comme acteur transverse autour de l'eau dans les territoires et de renforcer les partenariats



SDAGE « Rhin » et « Meuse » - 2022 - 2027  
Tome 4 - Annexe cartographique  
Version 1.0 - Octobre 2020

# Diagnostic vers l'amont : Une démarche cyclique et itérative

- Plan d'actions co-construit et mis en œuvre avec nos parties prenantes
- Evaluation des actions



Prélèvements sur 24 h en entrée et sortie de station réalisés en 2018  
Nouvelle campagne en cours 2022/2023

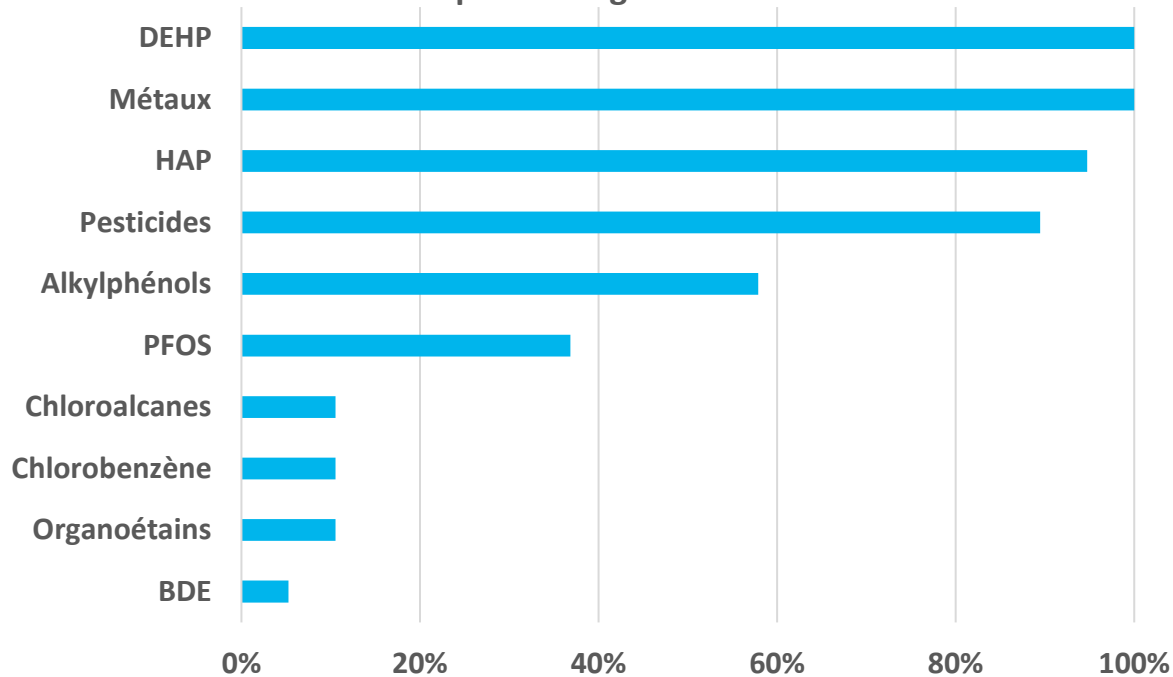
Identification des substances significatives et des sources potentielles d'émission

- Elaboration d'un plan d'actions de prévention et de réduction ciblées par familles de substances, contributeurs, contexte
- Rédaction du rapport transmis au SPE et AERM (fin 2021)

# Campagnes de recherche et de réduction des substances dangereuses dans les eaux (RSDE) et diagnostics amont



Part des STEP où ces familles/substances sont présentes en quantité significative



“ Parmi les substances significatives, + de 80 % sont des perturbateurs endocriniens (PE). ”

## CHIFFRES CLÉS

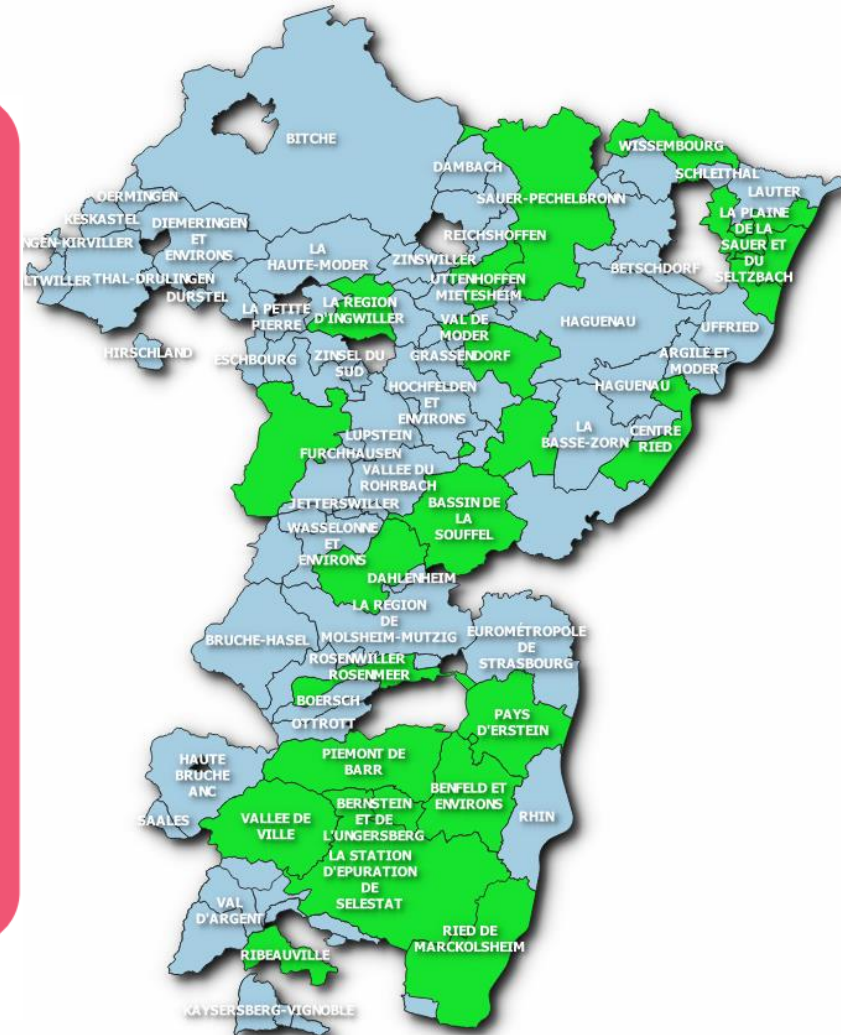
**20** systèmes d'assainissement

**200** communes

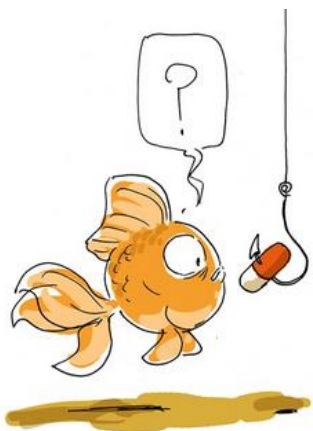
**290 000** habitants

**97** substances recherchées

**31** substances significatives identifiées en 2018







Crédit : Nicolas Journoud, pour le  
Graie – Licence : tous droits réservés

La note technique du 24 mars 2022 prévoit le suivi de manière optionnelle de 28 substances (dont 8 médicaments et métabolites)

ENCORE UNE BACTERIE DECLAREE  
RESISTANTE AUX ANTIBIOTIQUES !



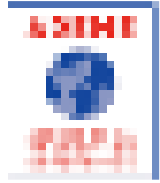
M

## Effets de la pollution médicamenteuse :

- **Féminisation des poissons**
  - Hormones stéroïdes
- **Modification du comportement des poissons** : agressivité, isolement, reproduction, alimentation, évitement des prédateurs
  - Antidépresseurs
- **Antibiorésistance**
- **Effet cocktail** : effets de mélange, de synergie, d'additivité entre micropolluants

# Une démarche volontaire

## Participation au Projet de Recherche et Développement HydroScreen



RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE  
*Liberté  
Égalité  
Fraternité*



## Projet HydroScreen

Identification de micropolluants associés à des effets toxiques  
en entrée et sortie de stations d'épuration et dans les eaux de surface

# HydroScreen : une double approche

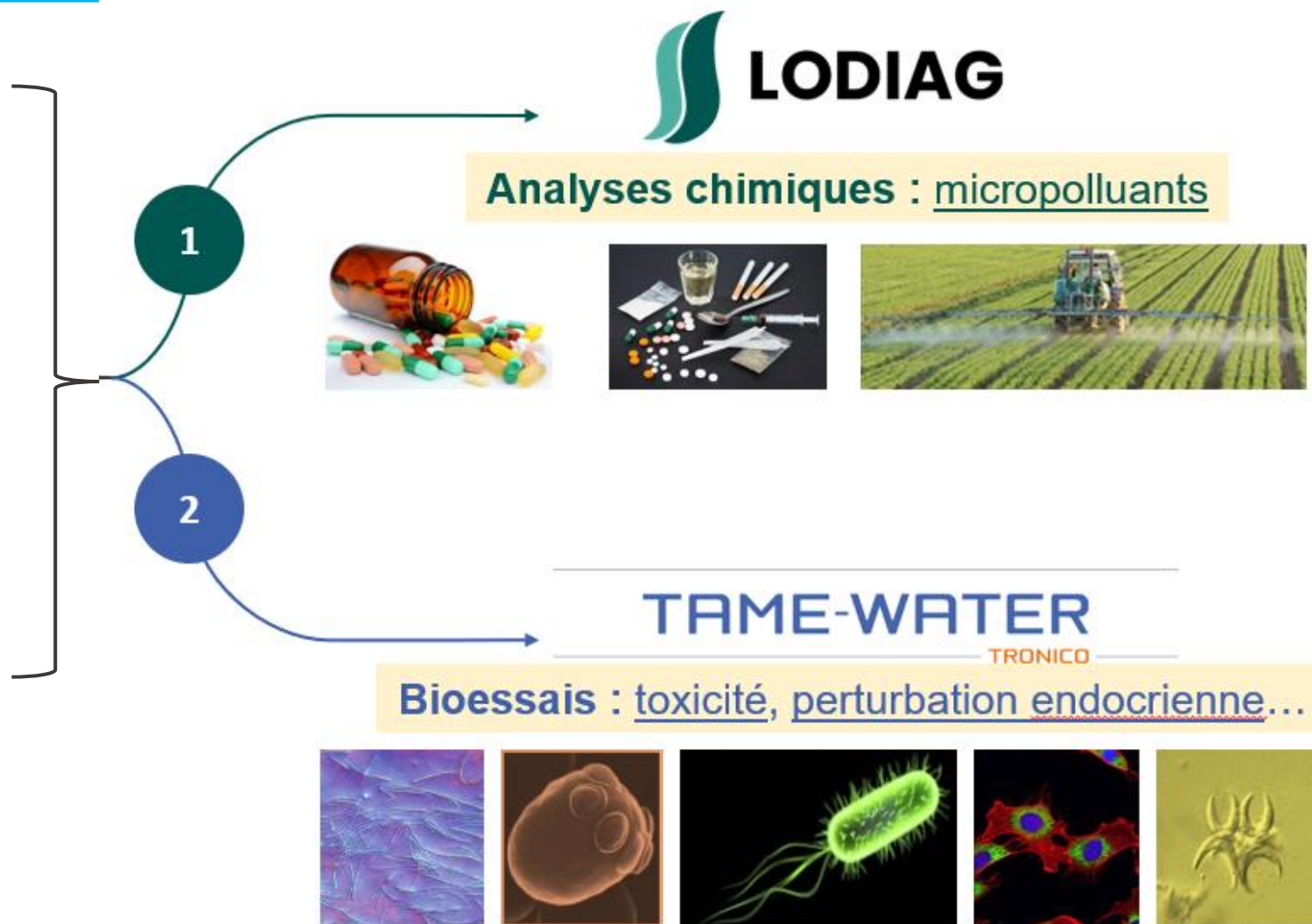


## Collecte de 1000 échantillons d'eau

- 860 eaux de surface
- 140 eaux de STEP

→ Données disponibles sur

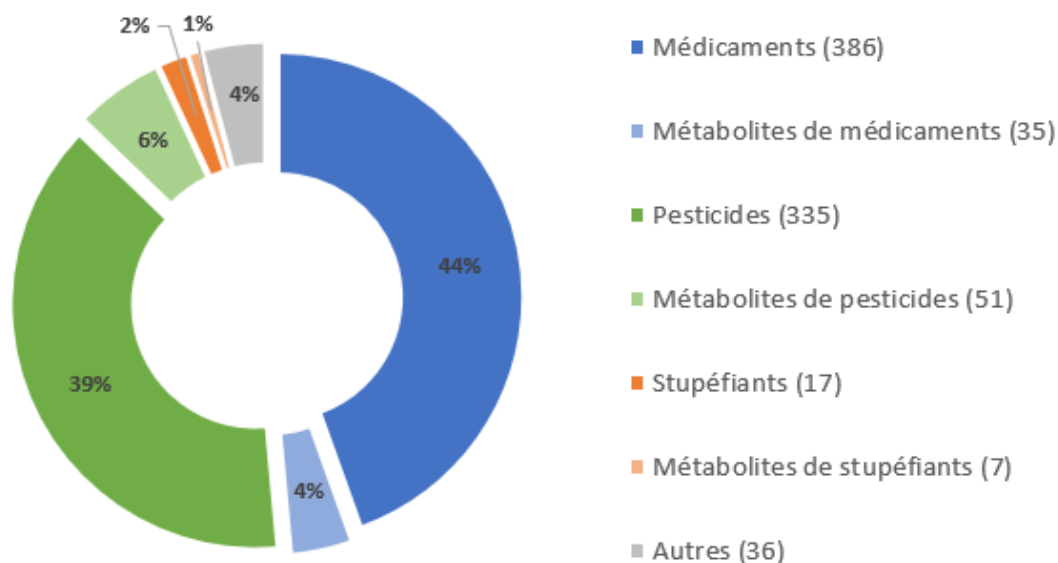
<http://hydrodiag.com/cartographie>





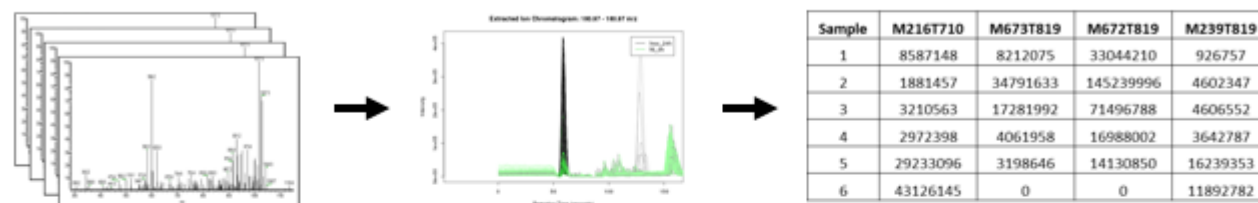
## Analyse ciblée

Recherche de micropolluants parmi une **base de données** interne de **867 molécules**, par comparaison avec les standards analytiques

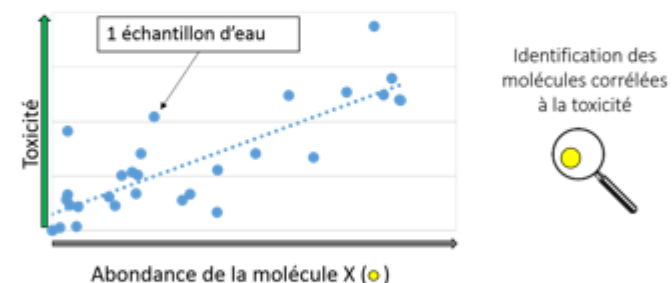


## Analyse non-ciblée

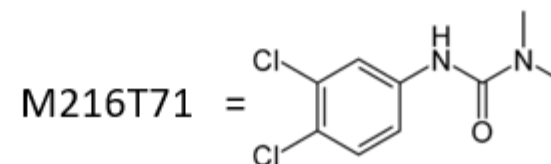
### 1. Etablissement d'une **liste** d'ions



### 2. **Sélection** des ions d'intérêt



### 3. **Identification** des molécules correspondantes



# Synthèse des résultats des analyses ciblées



Les analyses ont conduit à détecter **161** substances dangereuses parmi la banque de données de **867**.

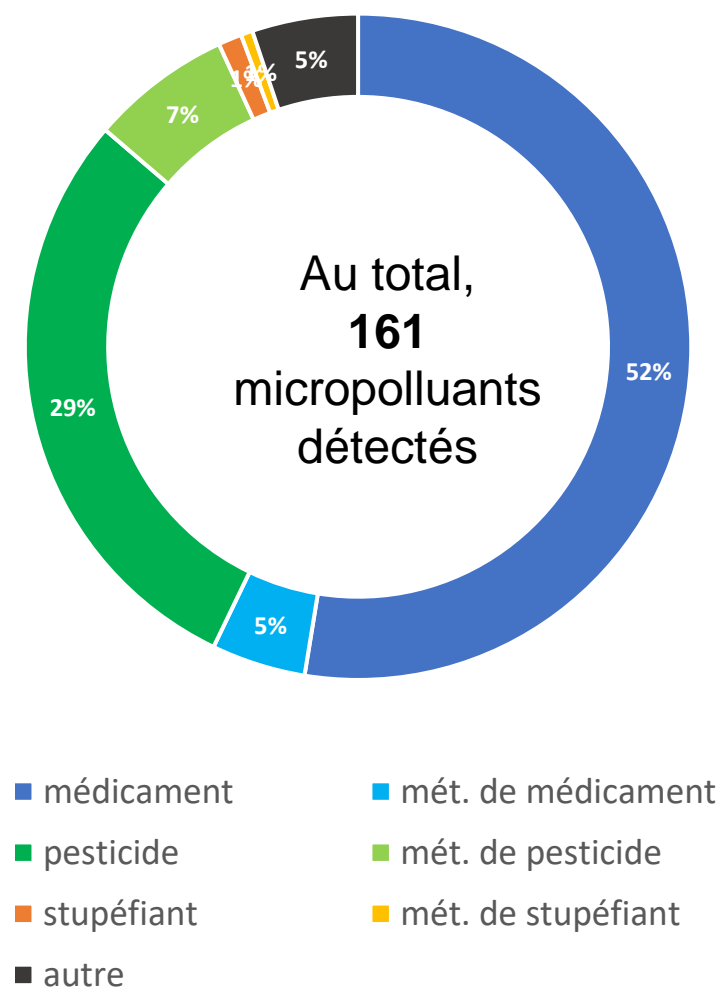
Une majorité de médicaments et métabolites de médicaments :

- **93 médicaments** et métabolites de médicaments
- **57 pesticides** et métabolites de pesticides
- **11 molécules** diverses

En moyenne :

- **10 molécules de moins en sortie** qu'en entrée de STEP
- **50 molécules** retrouvées dans les échantillons **entrée** de STEP
- **40 molécules** retrouvées dans les échantillons **sortie** de STEP

Répartition des classes de micropolluants détectés



# TOP 15 des principales substances dangereuses détectées



Liste des 15 molécules les plus souvent retrouvées dans les échantillons réseau et STEP :

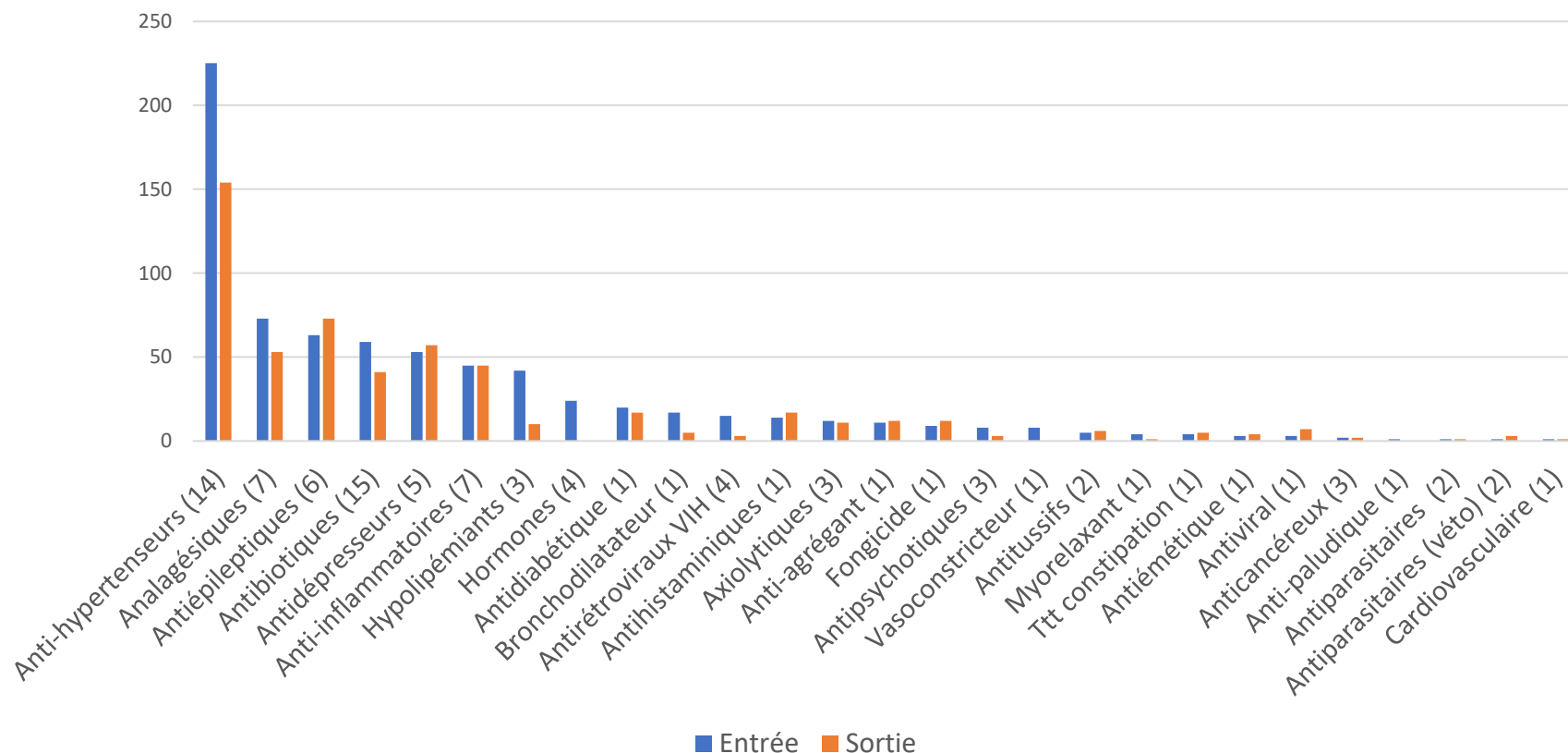
Nom	Catégorie	Effectif (sur les 44 échantillons)
Carbamazépine	médicament	44
Gabapentine	médicament	44
Diclofénac	médicament	43
Tramadol	médicament	43
Acébutolol	médicament	42
Métoprolol	médicament	42
Périndopril	médicament	42
<u>Valsartan</u>	médicament	42
Bisoprolol	médicament	41
Metformine	médicament	41
Venlafaxine	médicament	41
O-Desméthyltramadol	métabolite de médicament	40
Terbutryne	pesticide	36
Kétoprofène	médicament	35
Sulfaméthoxazole	médicament	34



# Zoom sur les médicaments détectés en entrée et sortie de STEP



Nombre de détection des molécules appartenant aux différentes classes de médicaments/métabolites de médicaments en entrée et sortie des 20 STEU



- Concentrations  $\mu\text{g/L}$  : seuil de quantification max  $\rightarrow > 2 \mu\text{g/L}$
- $C_{\text{entrée}} > C_{\text{sortie}}$
- 417 médicaments/métabolites de médicaments recherchés :
  - 81 entrée STEU
  - 68 sortie STEU
- 157 suspectés dans les eaux de surface

18 bioessais répartis en 3 panels pour les 18 échantillons d'eau de surface

<b>Toxicité Générale (TG)</b>	Bactérie sauvage
	Bactérie sensible
	Algue sauvage
	Algue sensible
	Levure sauvage
	Levure sensible
	Champignon
	Cellules humaines globules blancs
<b>Perturbation Endocrinienne (PE)</b>	Œstrogène agoniste
	Œstrogène antagoniste
	Androgène agoniste
	Androgène antagoniste
	Thyroïdien agoniste
	Thyroïdien antagoniste
<b>Stress Cellulaire (SC)</b>	Stress HAP
	Stress oxydant
	Viabilité
	Stress herbicides

Les mêmes bioessais  
+ 9 bioessais répartis en 3 panels pour les eaux de STEU

<b>Toxicité Générale (TG)</b> – 8 bioessais	
<b>Perturbation Endocrinienne (PE)</b> – 6 bioessais	
<b>Stress Cellulaire (SC)</b> – 4 bioessais	
<b>Génotoxicité (GT)</b>	Bactérie
	Cellules humaines avec métabolisation
	Cellules humaines sans métabolisation
<b>Reprotoxicité (RT)</b>	Perméabilité membranaire
	Expression TP1
	Expression TP2
	Expression PRM3
<b>Stress médicamenteux (GC)</b>	Glucocorticoïde agoniste
	Glucocorticoïde antagoniste

Classes résultantes possibles à l'issue du bioessais

<b>3</b>	<i>Prolifération/Effet fort</i>
<b>2</b>	<i>Prolifération/Effet moyen</i>
<b>1</b>	<i>Prolifération/Effet faible</i>
<b>0</b>	<i>Référence</i>
<b>-1</b>	<i>Toxicité/Effet faible</i>
<b>-2</b>	<i>Toxicité/Effet moyen</i>
<b>-3</b>	<i>Toxicité/Effet fort</i>

# Bioessais : exemples de résultats bruts



	Type d'eau	Réseau	Réseau	Réseau	Réseau	Entrée STEP	Sortie STEP	Surface
	<b>Nb bioessaistoxique</b>	5	5	6	6	5	3	4
	<b>Nb bioessais prolifératif</b>	3	2	1	3	2	1	0
Toxicité générale	TG - Bactérie sauvage	-3	-3	-3	-3	-3	0	0
	TG - Bactérie sensible	-3	-3	-3	-3	-3	-1	-2
	TG - Algue sauvage	1	0	0	1	0	0	0
	TG - Algue sensible	3	2	2	3	3	1	-1
	TG - Levure sauvage	0	0	0	0	0	0	0
	TG - Levure sensible	0	0	-1	-1	-1	0	-1
	TG - Champignon	3	3	0	3	3	-2	0
	TG - Cellules humaines globules blancs	0	0	0	0	0	0	0
	PE - Oestrogène agoniste	-2	-2	-2	-3	-3	-1	-1
Perturbation endocrinienne	PE - Oestrogène antagoniste	0	0	0	0	0	0	0
	PE - Androgène agoniste	-3	-2	-1	-3	-2	0	0
	PE - Androgène antagoniste	0	0	0	0	0	0	0
	PE - Thyroïdien agoniste	0	0	0	0	0	0	0
	PE - Thyroïdien antagoniste	0	0	0	0	0	0	0
	SC - Stress HAP	0	0	0	0	0	0	0
Stress Cellulaire	SC - Stress oxydant	0	0	0	0	0	0	0
	SC - Viabilité	-1	-1	0	-2	0	0	0
	SC - Stress herbicides	0	0	0	0	0	0	0
	GT - Bactérie	0	0	-1	0	0	0	NA
Géno-toxicité	GT - Cellules humaines avec métabolisation	0	0	0	0	0	0	NA
	GT - Cellules humaines sans métabolisation	0	0	0	0	0	0	NA
	RT - Perméabilité membranaire	-1	-1	-1	-1	-1	-1	NA
Repro-toxicité	RT - Expression TP1	-3	-3	-3	-3	-3	-1	NA
	RT - Expression TP2	-3	-3	-3	-3	-3	-1	NA
	RT - Expression PRM3	-3	-3	-3	-3	-3	-1	NA
	GC - Glucocorticoïde agoniste	0	0	0	0	0	0	NA
Stress Médic.	GC - Glucocorticoïde antagoniste	0	0	0	0	0	0	NA



↑ Toxicité  
→



↑ Effet prolifératif



# Engagement d'une démarche vis-à-vis de la réduction des résidus de médicaments dans les eaux usées



## Les différents contacts et échanges :

- GRAIE, porteur du projet SIPIBEL RILACT
- Métropole Montpellier- Polyclinique Saint-Roch
- SIP2E : Système d'information sur les produits pharmaceutiques dans l'environnement
- Ecoprescription



+ Bibliographie : projets REMPAR, REGARD, PSYCHEAU/MEDEAU, INNOVEC'EAU....

## Facilitateurs de mise en relation avec le milieu médical :

- C2DS : Comité pour le Développement Durable en Santé
  - Primum Non Nocere
- Possible mise en relation avec des professionnels de santé et des établissements de soins d'un périmètre donné, engagés dans une démarche de développement durable



# Engagement d'une démarche vis-à-vis de la réduction des résidus de médicaments dans les eaux usées



## Retours d'expérience au niveau national :

- Source des résidus de médicaments dans les eaux usées → **Effluents domestiques (80%) >> effluents hospitaliers (20%)**
- Mauvaise connaissance du cycle de l'eau et de la problématique par les professionnels de santé
- Volonté d'agir des professionnels de santé
- Seule action possible pour le moment : **sensibilisation** avec les professionnels de santé
- Prendre en compte les **biocides** → participent à l'antibiorésistance et actions + faciles à mettre en place
- Très fort intérêt sur le cycle de l'eau et l'impact



## Communication :

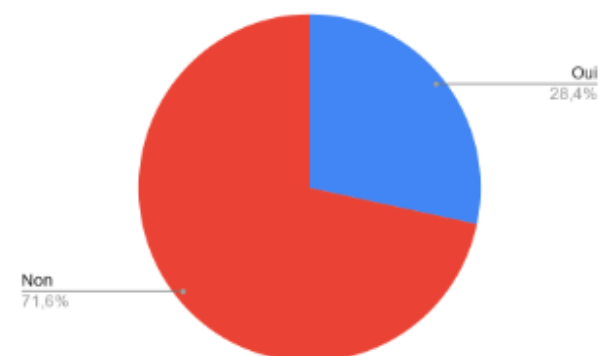
- Kits pédagogiques SIPIBEL
- Kits de communication Cyclamed, possibilité de partenariat pour nouvelle communication
- EcoPrescription: Dr Bastien prêt à témoigner



# Questionnaire à destination des étudiants en santé à l'Université de Strasbourg– Résultats

- **80% ont vaguement voire pas du tout connaissance du cycle de l'eau**
- **94 % savent vaguement ou ne savent pas comment fonctionne une STEU**
- **42% pensent que les résidus proviennent des MNU**, puis industrie pharmaceutique, puis rejets domestiques et établissements de soins
- **55% ne savent pas que les STEU ne traitent pas en totalité les résidus** de médicaments
- **18% ont de bonnes connaissances sur les impacts** environnementaux et sanitaires des résidus
- **72% n'ont pas eu d'information** à ce sujet au cours de leurs études en santé

Question 9) Avez-vous eu des informations sur ce sujet lors de votre parcours d'étudiant.e en santé ?



➔ **Besoin d'informations et de formation pour les professionnels de santé**

- ➔ Poursuivre les échanges avec les professionnels de santé et les scientifiques pour témoigner de nos constats (projet HydroScreen, campagne RSDE sur l'analyse des substances médicamenteuses) et informer sur les impacts sur la santé et l'environnement
- ➔ Communiquer sur la réduction des biocides avec nos Parties Prenantes et nous questionner en interne sur le bon usage des biocides



## 2ème partie / 2. Teil (1/3)

# CoMinGreat



**Contexte « Elimination des  
micropolluants en sortie de station  
d'épuration » /**

**Elimination von Mikroverunreinigungen  
am Ausgang der Kläranlage**

Joachim HANSEN & Sylvia VENDITTI  
(University of Luxembourg)

# Context: Technological options for the elimination of Micropollutants in small WWTP

## Initial situation



- Technologies commonly used for elimination of Micropollutants (`tertiary treatment`) are mainly suitable for larger Wastewater treatments plants (WWTP)
- Utilisation for small and medium-sized WWTP (< 20.000 PE)  
→ not standard, only in exceptional cases (CAPEX, OPEX,...)

→ robust technologies for small and medium sized plants

One of the goals within the INTERREG GR-project EmiSûre  
(2017 – 2021; co-funded by Water Administrations Rhineland-Palatinate and Luxembourg)



# Are Constructed Wetlands (CW) as additional treatment step for MP-elimination a suitable alternative for small and medium-sized WWTP?

- **Constructed Wetlands (CW)**

...are used for several purposes in wastewater disposal, e.g.:

- advanced treatment of stormwater or combined wastewater
- decentralised treatment of municipal wastewater for small units

→ **Macropollutants, heavy metals**

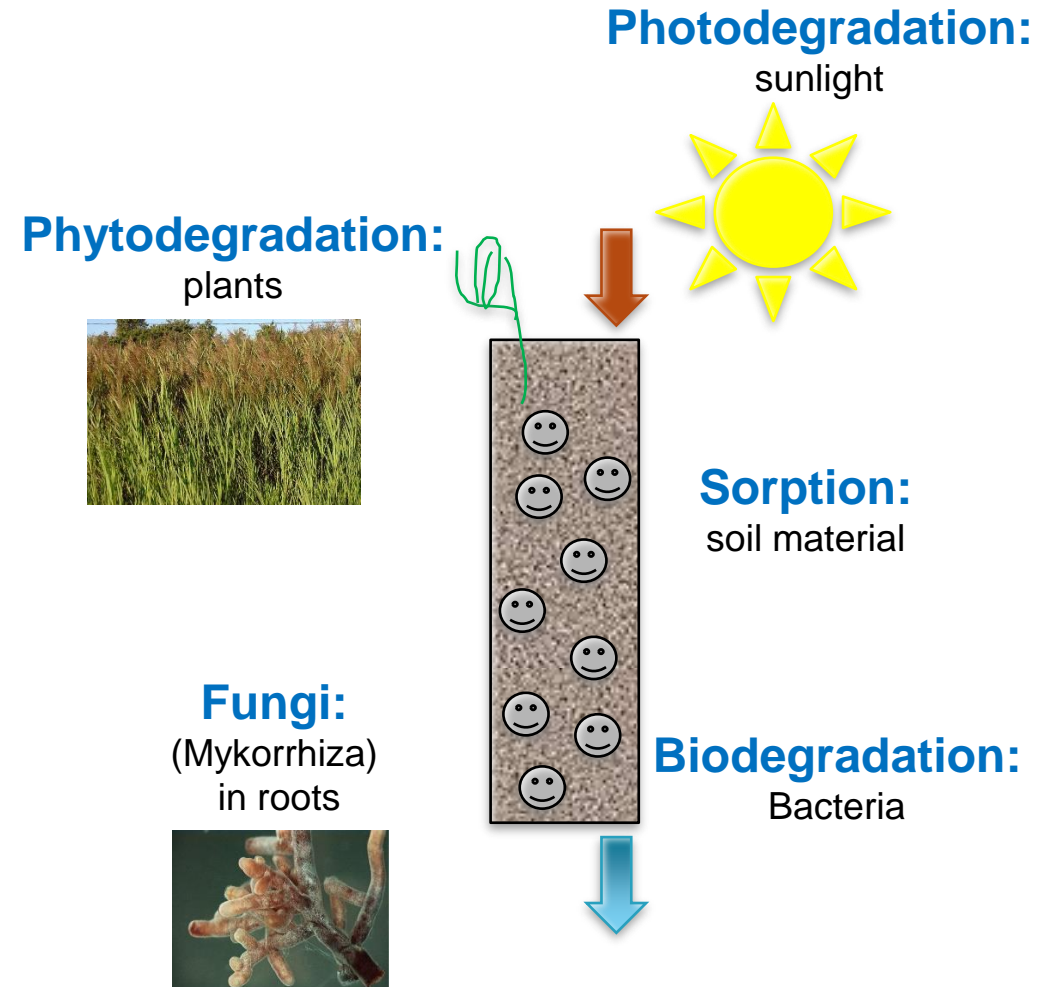
- First approaches for elimination of **MP** (e.g. Dobner, Uni Bremen /2013/; RBF+ Erftverband – Korrespondenz Abwasser /2020/)





# Main processes in CW

- Synergy of manifold elimination processes /mechanism
- For biological degradable substances as well as for substances that can be removed by sorption

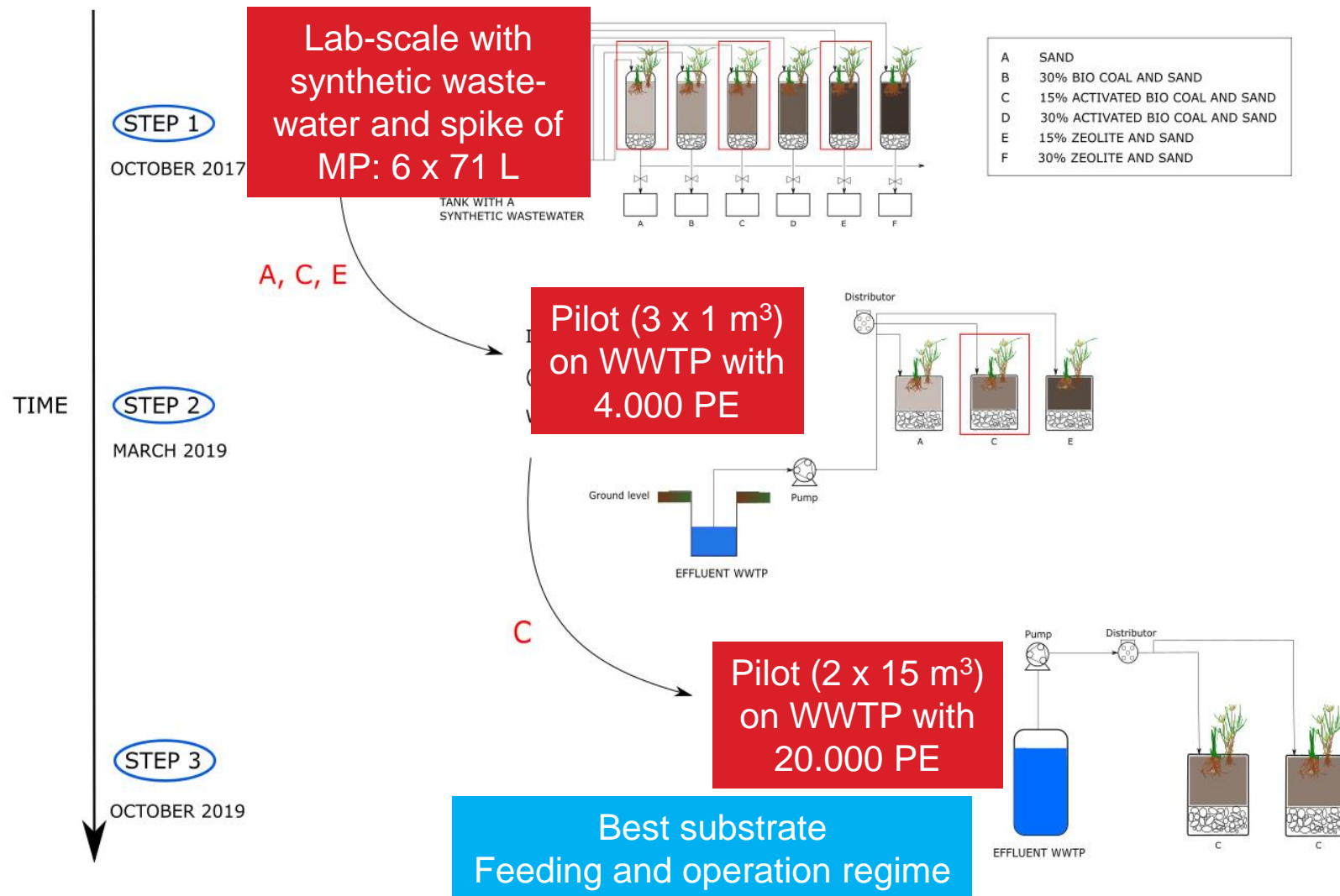


# Conception of investigations in the frame of EmiSûre: Charakteristics of EmiSûre-CW

- Vertical-flow CW (vertical subsurface flow CW) as tertiary step
- planted (reets *phragmites australis*, *iris pseudacorus*: long and short roots)
- Soil: Sand (100%) as a blank; Sand (between 70 and 85%) with addition of specific substrates (Zeolithe, Biocoal, Activated Biocoal: 15 to 30%)
- Intermittend feeding (3/d for 30 min); HLR 100...300 l/(m<sup>2</sup> x d)
- 27 Substances from different groups: e.g. Pharmaceuticals, Pesticides and Flurosurfactants

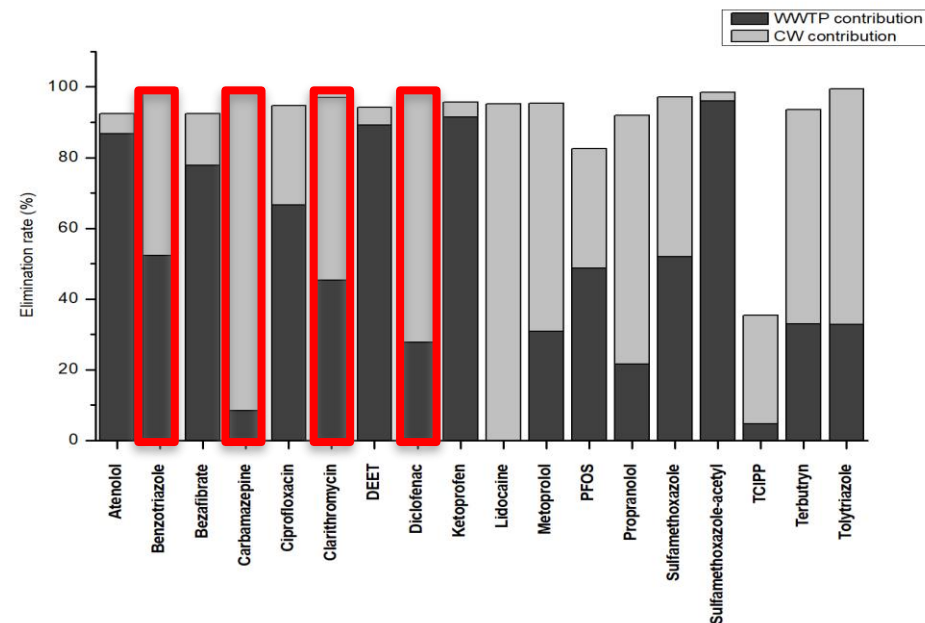


# Conception and timetable of investigations



# Summary of findings and results

- Very high elimination rates for Macropollutants COD, NH<sub>4</sub>-N und P
- high removal rates for Micropollutants, esp. for LU-mandatory substances



- A few substances (e.g. PFOS, AMPA) were removed with lower rates
- Best substrate: 15% activated Biochar with 85% Sand



- CW with mixture of Sand and activated Biocoal as additional step offer **very high removal rates for Macropollutants**
- **high removal rates** for most of relevant MP, additionally very large reduction of bacteriological pollution
- A few MP were **removed with lower efficiency**

**Constructed Wetlands are definitely  
a suitable alternative  
for small and medium-sized WWTP**

- Long term performance / life time
- Quantification of removal mechanism
- Maximum feeding → Design and Dimension  
( $\leq 0.3 \dots 0.4 \text{ m}^2/\text{PE}$ )
- Effect combination of e.g. (Advanced) Oxidation with CW  
(...to reduce surface and increase performance)
- Comparison with conventionally used technologies



→ Investigations in Follow-up Projects (e.g. CoMinGreat) and  
(just finished) PhD-thesis (Dr. Hana Brunhoferova)

## 2ème partie / 2. Teil (2/3)

# CoMinGreat



TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
KAISERSLAUTERN



UNIVERSITÉ DU  
LUXEMBOURG



UNIVERSITÉ  
DE LORRAINE



**Résultats analytiques préliminaires -  
focus sur les résidus médicamenteux /**

**Vorläufige Analyseergebnisse mit einem  
Fokus auf Medikamentenrückstände**

**→ cf. PDF**

## 2ème partie / 2. Teil (3/3)

# CoMinGreat



**Résultats de modélisation/simulation  
de la station d'épuration et des post-  
traitements - focus sur les filtres plantés  
/  
Simulationsergebnisse mit einem Fokus  
auf Pflanzenkläranlage**

Thi Mai Lan Duong & Olivier Potier  
(CNRS – Laboratoire LRGP – Université de  
Lorraine)



# Introduction

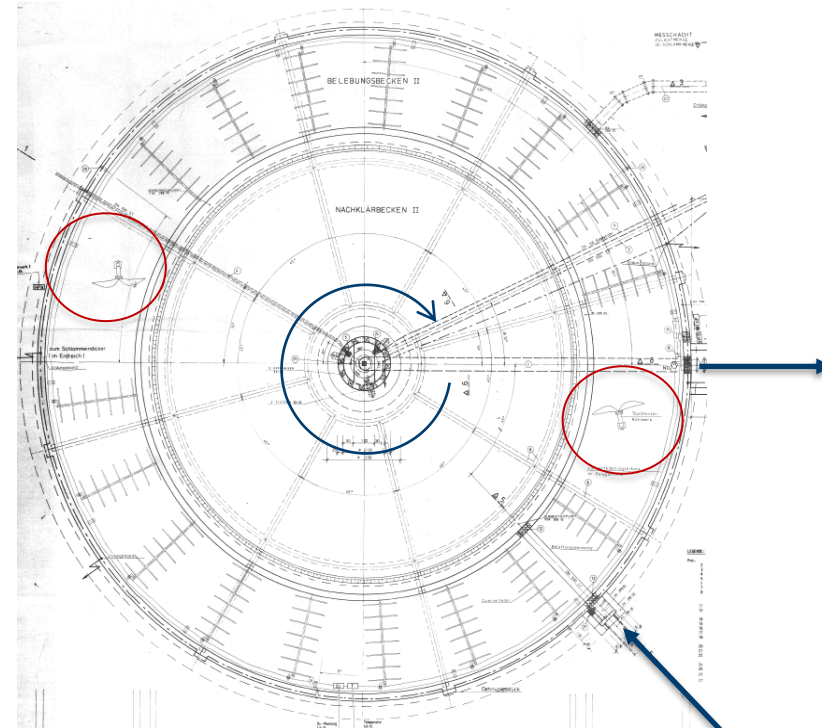
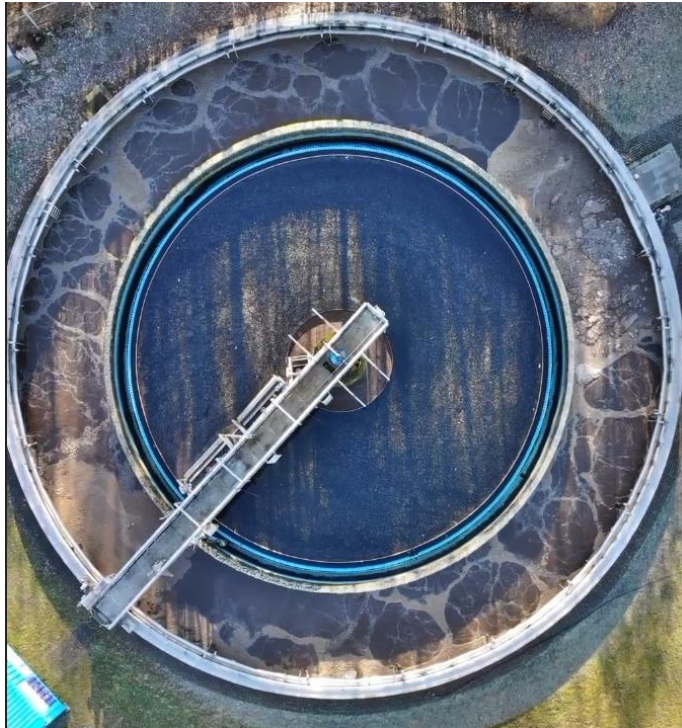
- Objectif : modélisation et simulation de l'élimination des micropolluants dans la station d'épuration (STEP) de Bliesen et des systèmes de post-traitement

Systèmes à simuler	
Station d'épuration	Réacteur biologique + clarificateur
Post-traitements	Ligne 1 : Constructed Wetland (Filtre planté)
	Ligne 2 : PhotoFenton + Constructed Wetland
	Ligne 3 : Colonne de charbon actif
	Ligne 4 : Ozonation + Colonne de charbon actif

# Base de modélisation

- Modèle Hydrodynamique :
  - $\Rightarrow$  configuration du programme de la simulation
  - Méthodologie :
    - Recherche bibliographique
    - Simulation de Mécanique des fluides numérique (CFD)
    - Traçage numérique (Distribution du temps de séjour)
- Modèle Cinétique :
  - Equation d'élimination des micropolluants
- Modèle de Transfert de gaz-liquide (ozone)

# Modélisation de STEP de Bliesen



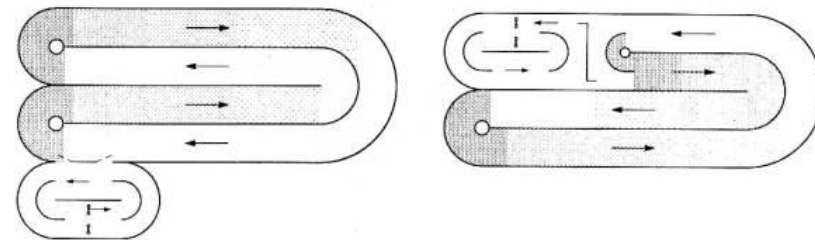
Réacteur biologique (anneau extérieur) et clarificateur (intérieur)

# Modélisation de STEP de Bliesen

## Difficulté et opportunité de simulation de la STEP de Bliesen

### Difficulté de la simulation du réacteur biologique à la STEP de Bliesen :

- Réacteur carrousel mais « petit »: Réacteur simple en termes de construction mais complexe pour présenter le comportement hydrodynamique
- Fonctionnement hybride dans lequel les conditions aérobies et anoxiques alternent dans le temps (important à présenter car réactions différentes de certains MP dans les 2 conditions)
- Peu d'études dans la littérature
- Pour bien construire le modèle compartimental → Simulation de Mécanique des fluides numérique (CFD)



Carrousel/racetrack/raceway/oxidation ditch  
Généralement de grands réacteurs pour STEP avec  
des conditions aérobies et anoxiques alternées par zone



# Modélisation de STEP de Bliesen

## 1. Modèle Hydrodynamique

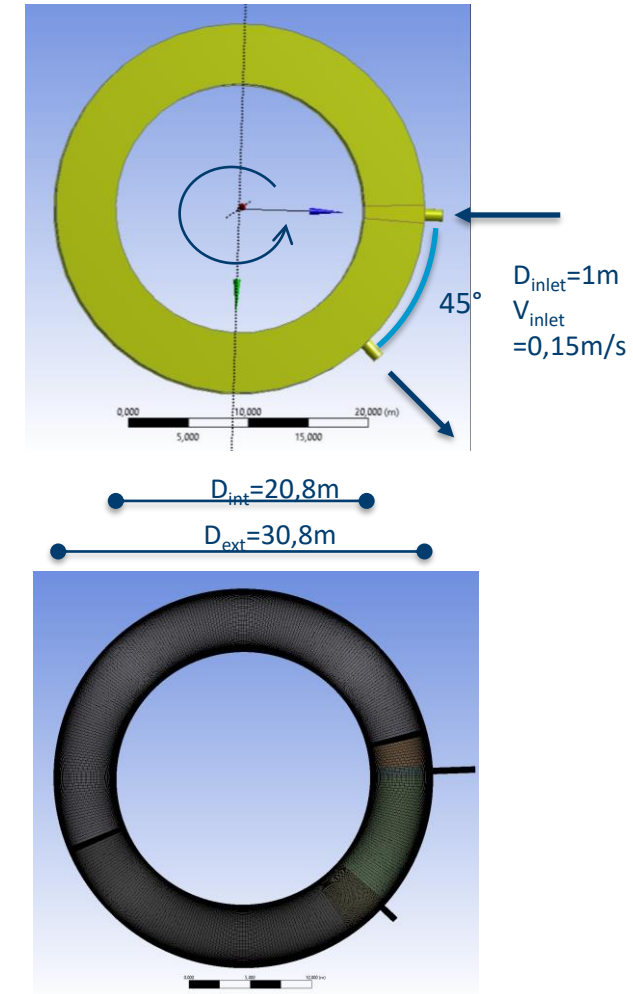
- Modèle hydrodynamique choisi : **Modèle des réacteurs parfaitement agités en série (series of CSTRs) en boucle**
- Simulation supplémentaire : Simulation de Mécanique des fluides numérique (CFD)

Résolution des équations de Navier-Stokes pour décrire l'évolution des fluides dans le réacteur

The mass balance equations for each phase give:

$$\rho_g \left[ \frac{\partial(\alpha_g)}{\partial t} + \text{div}(\alpha_g \vec{U}_g) \right] = \text{div} \left( \frac{\mu_{t,g}}{0.75} \vec{\nabla}(\alpha_g) \right) \quad (1)$$

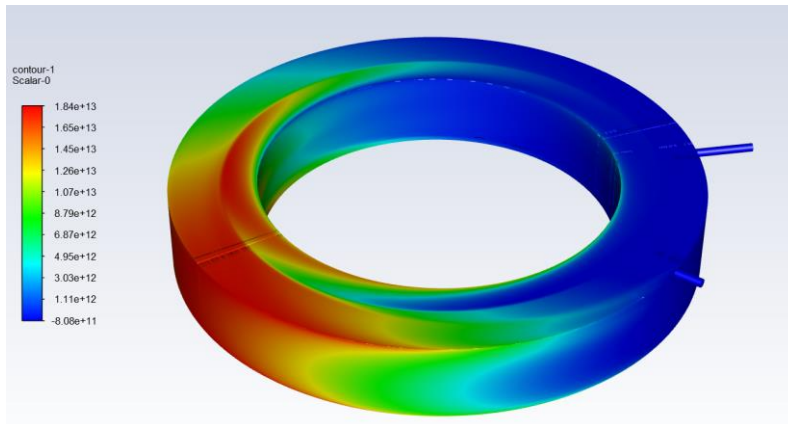
$$\rho_l \left[ \frac{\partial(\alpha_l)}{\partial t} + \text{div}(\alpha_l \vec{U}_l) \right] = -\text{div} \left( \frac{\mu_{t,g}}{0.75} \vec{\nabla}(\alpha_g) \right) \quad (2)$$



# Modélisation de STEP de Bliesen

## 1. Modèle Hydrodynamique

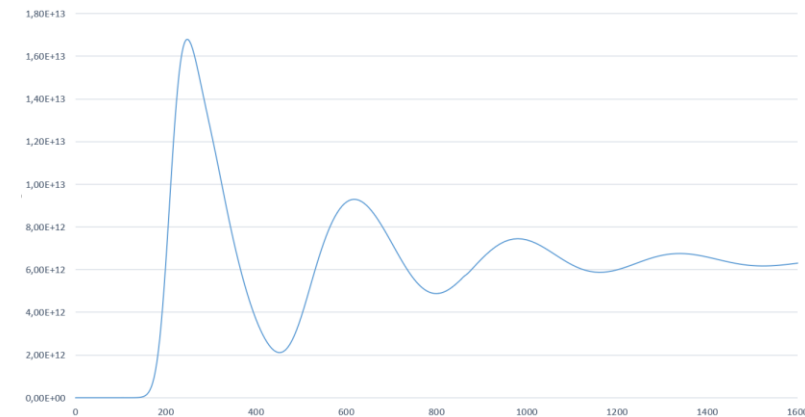
La distribution du temps de séjour (RTD), traçage numérique



L'équation de transport de la concentration du traceur

$$\frac{\partial(\alpha_l \rho_l C_l)}{\partial t} + \text{div}(\alpha_l \rho_l \vec{U}_l C_l) = \text{div} \left[ \alpha_l \left( \rho_l D_l + \frac{\mu_{t,l}}{Sc_{t,l}} \right) \vec{\nabla}(C_l) \right]$$

Évolution de la concentration du traceur en fonction du temps



→ Déduction du nombre de RPA en série pour le réacteur biologique

# Modélisation de STEP de Bliesen

## 2. Modèle Cinétique

Équation cinétique d'élimination des micropolluants :

$$r_{MP} = -k_{biol} \cdot C_{TSS} \cdot C_{MP}$$

$r$  ( $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) : Vitesse d'élimination

$k_{biol}$  ( $\text{L} \cdot \text{g}_{TSS}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) : Constante d'élimination

$C_{MPs}$  ( $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ) : Concentration en micropolluants dissous

$C_{TSS}$  ( $\text{g}_{TSS} \cdot \text{L}^{-1}$ ) : Concentration de biomasse totale

Comparer la constante d'élimination  $k_{biol}$  avec la bibliographie

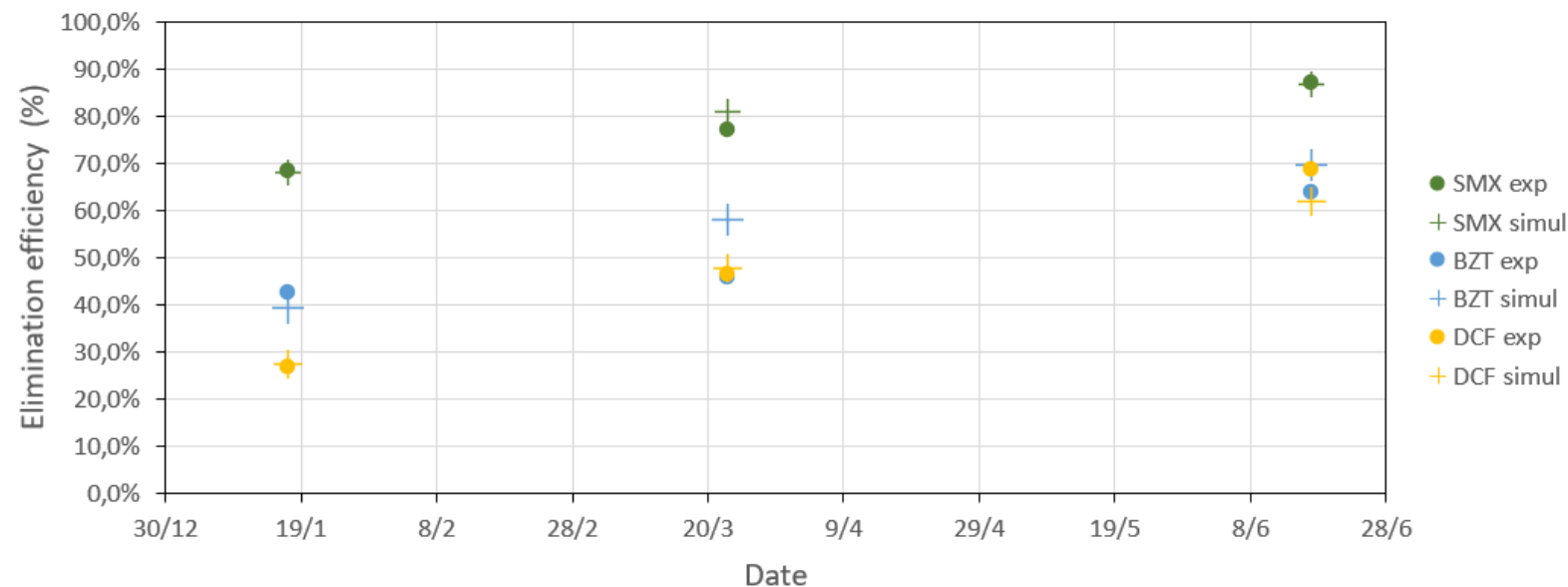
$k_{biol}$ ( $\text{Lg}^{-1}\text{h}^{-1}$ )	Simulation à partir de données exp	Plosz et al., 2010	Maziotti et al., 2015	Suarez et al., 2010	Joss et al., 2006	Abegglen et al., 2009
SMX	0,022	0,017		0,0125	0,2458	0,0079
BZT	0,0071		0,0092			
DCF	0,0115 & 0,00038			0,05 & <0,0017	0,00417	0,00083

# Modélisation de STEP de Bliesen

## 3. Résultats

Efficacité d'élimination des micropolluants (différentes journées)

	Débit (m³/j)	SMX exp	SMX simul	Ecart (%)	BZT exp	BZT simul	Ecart (%)	DCF exp	DCF simul	Ecart (%)
17/01/2022	4807	68,5%	68,2%	0,3%	42,8%	39,3%	3,5%	26,9%	27,6%	-0,7%
23/03/2022	2425	77,2%	81,0%	-3,8%	45,8%	58,3%	-12,4%	46,4%	47,9%	-1,5%
17/06/2022	1592	87,2%	86,7%	0,5%	64,0%	69,8%	-5,8%	68,7%	62,0%	6,7%





## Efficacité d'élimination des micropolluants (différentes journées) de la STEP

<5% : Très bon  
 5-10% : Bon  
 10-15% : Assez bon  
 15-30% : Moyen  
 >30% : Valeur approchée  
 (ordre de grandeur)

Micropolluants	17/01/2022			23/03/2022			25/05/2022			17/06/2022		
	Eff exp	Eff simul	Ecart (%)	Eff exp	Eff simul	Ecart (%)	Eff exp	Eff simul	Ecart (%)	Eff exp	Eff simul	Ecart (%)
AMPA				72,1%	62,5%	9,6%	74,4%	47,4%	27,0%	59,1%	71,9%	-12,8%
Atenolol	70,3%	65,6%	4,7%	83,8%	79,1%	4,7%	82,0%	67,8%	14,2%	81,2%	85,2%	-4,0%
Benzotriazole	42,8%	36,1%	6,7%	45,8%	53,3%	-7,5%	22,1%	37,4%	-15,3%	64,0%	64,0%	-0,03%
Bezafibrate	37,8%	46,6%	-5,5%	58,4%	63,5%	-3,2%	92,1%	44,8%	47,3%	88,2%	72,7%	15,9%
Caffeine				99,1%	99,3%	-0,2%	98,9%	97,4%	1,5%	99,4%	99,4%	0,0%
Carbamazepine	12,8%	9,5%	-2,3%	7,7%	18,1%	-18,9%	52,5%	15,9%	36,6%	38,1%	27,4%	1,4%
Ciprofloxacin	80,4%	68,8%	11,5%				64,9%	70,1%	-5,1%	98,9%	88,6%	10,3%
DEET	69,7%	50,2%	19,5%	48,7%	69,1%	-20,4%	61,6%	53,1%	9,7%	81,8%	76,3%	5,5%
Diclofenac	26,9%	32,1%	-3,5%	46,4%	49,0%	-4,1%	55,0%	31,9%	23,0%	68,7%	60,3%	4,7%
Estrone				50,8%	40,6%	5,1%	48,8%	30,5%	18,3%	27,7%	51,3%	-28,6%
Glyphosate	13,8%	38,2%	-24,4%				49,8%	39,6%	10,3%	94,8%	65,9%	28,9%
Ibuprofen				98,8%	99,3%	-0,5%	98,4%	97,0%	1,4%	98,3%	99,4%	-1,1%
Lidocaine	33,4%	10,6%	22,7%	20,1%	19,9%	0,2%	18,7%	11,2%	7,5%	3,4%	29,4%	-25,9%
MCPP	29,0%	27,9%	1,1%									
Metoprolol	32,6%	21,6%	5,2%	5,3%	35,4%	-37,7%	58,9%	28,7%	30,1%	42,5%	45,8%	-11,3%
Sucralose				13,9%	18,9%	-16,9%	33,6%	19,0%	14,6%	33,9%	27,6%	-7,5%
Sulfamethoxazole	68,5%	63,6%	4,9%	77,2%	77,6%	-0,4%	51,1%	64,9%	-13,9%	87,2%	84,1%	3,1%
Sulfamethoxazole-acetyl	92,5%	94,2%	-1,7%	94,3%	97,0%	-2,7%	97,9%	94,5%	3,4%	99,0%	98,0%	1,0%
Terbutryn	45,3%	50,4%	-5,1%				79,3%	51,5%	27,8%	81,6%	76,8%	4,8%

## Efficacité d'élimination des micropolluants (différentes journées) de la STEP

Micropolluants	Écart absolu moyen
Caffeine	0,6%
Ibuprofen	1,0%
MCP	1,1%
Sulfamethoxazole-acetyl	2,2%
Sulfamethoxazole	5,6%
Atenolol	6,9%
Benzotriazole	7,4%
Terbutryn	8,6%
Diclofenac	9,0%
Carbamazepine	9,8%
Sucralose	12,6%
Bezafibrate	13,4%
Ciprofloxacine	14,1%
AMPA	15,2%
Metoprolol	16,5%
DEET	17,4%
Lidocaine	18,7%
Estrone	19,2%
Glyphosate	21,2%

<5% : Très bon  
 5-10% : Bon  
 10-15% : Assez bon  
 15-30% : Moyen  
 >30% : Valeur approchée  
 (ordre de grandeur)

# Modélisation de post-traitements

---

**Ligne 1 : Constructed Wetland (Filtre planté)**

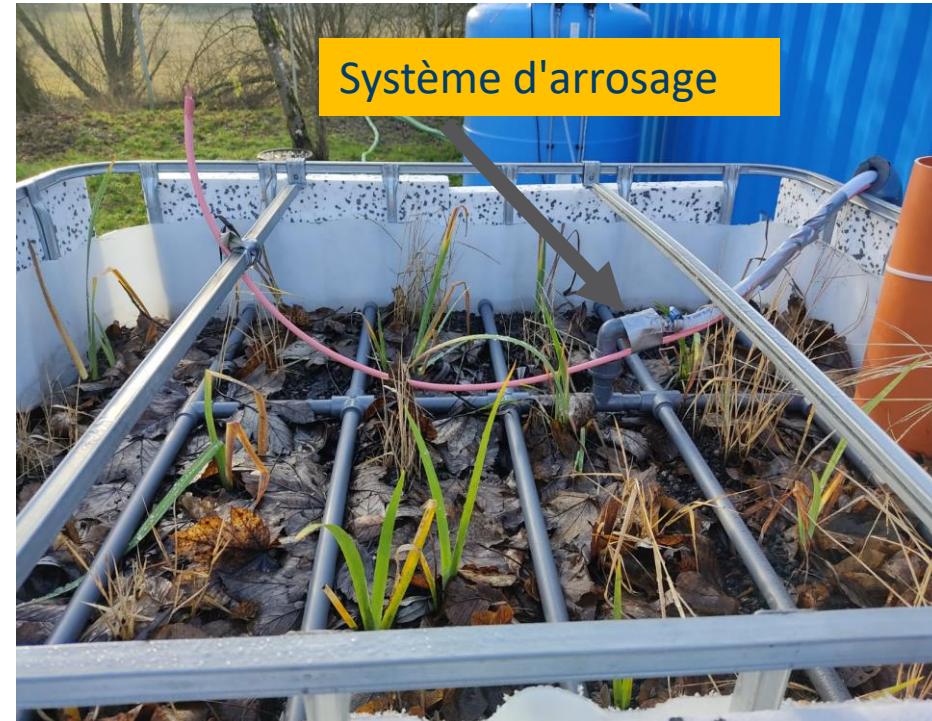
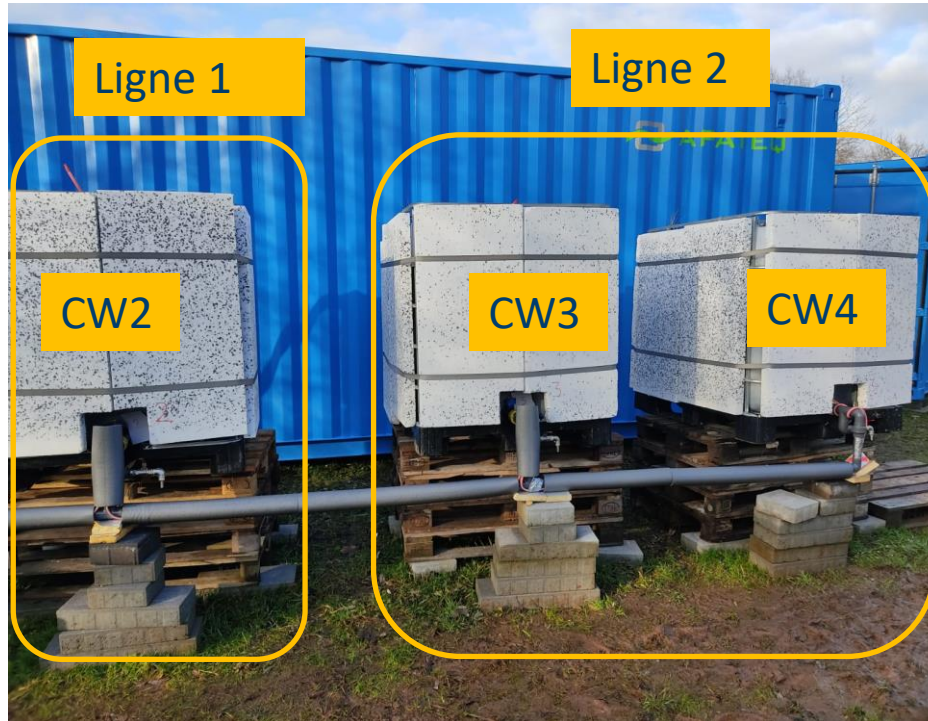
**Ligne 2 : PhotoFenton + Constructed Wetland**

**Ligne 3 : Colonne de charbon actif**

**Ligne 4 : Ozone + Colonne de charbon actif**

# Modélisation de post-traitements

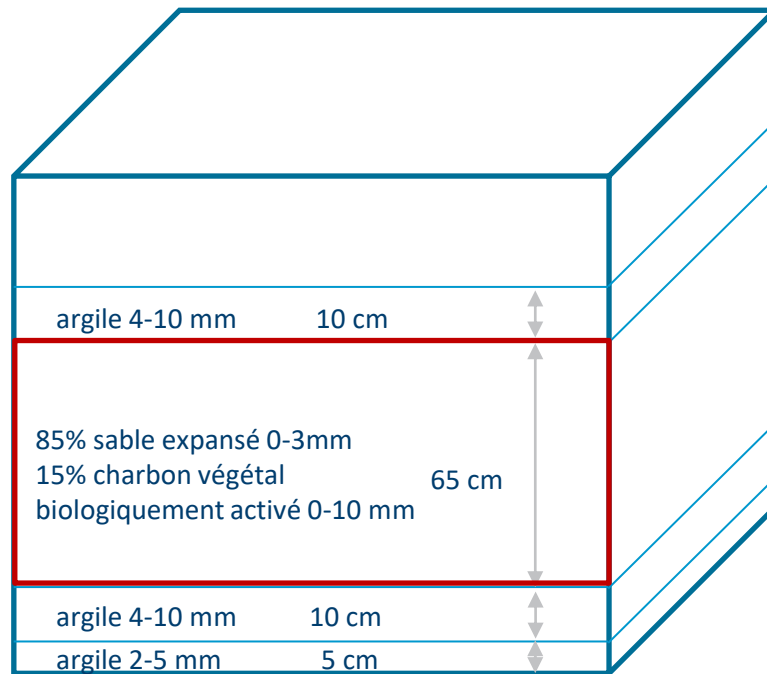
## Ligne 1 : Constructed Wetland (Filtre planté)





# Modélisation de post-traitements

## Ligne 1 : Constructed Wetland (Filtre planté)



### Modèle hydrodynamique :

- **Garnissage** (couche avec 85% de sable expansé + 15% de charbon végétal biologiquement activé)

→ comparable à une série de RPA

**Modèle cinétique** : 2 modèles, adsorption et biodégradation (bactéries et plantes)

$$r = r_{AD} + r_{deg} = -(k_{AD} + k_{deg})C_{MP}$$

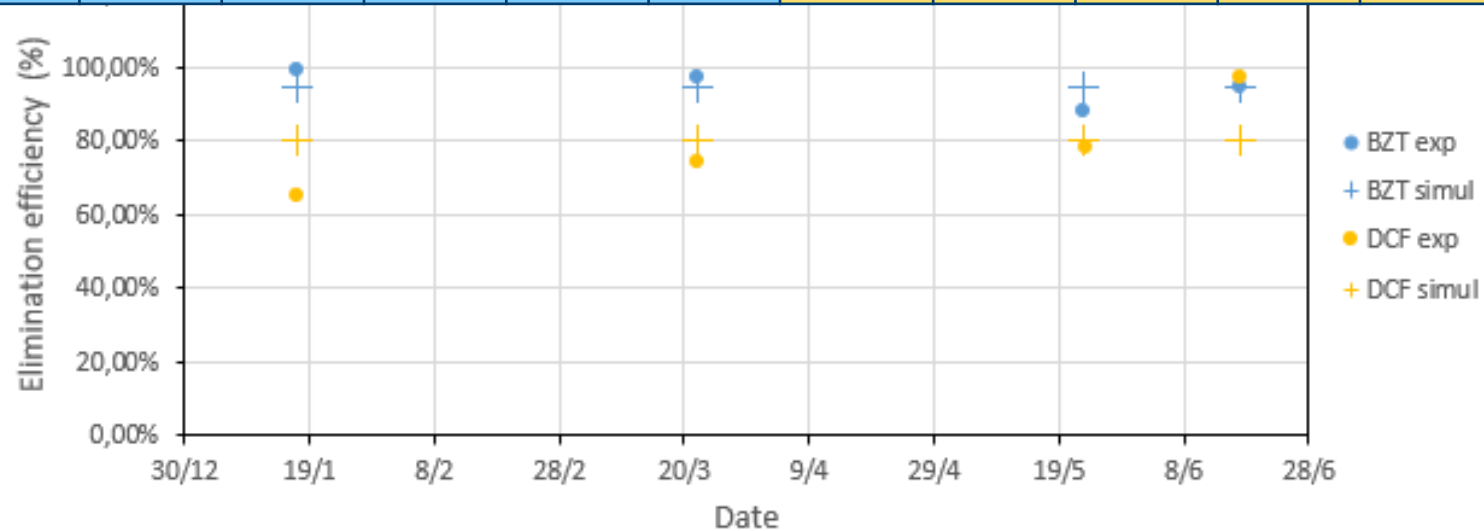
$$\rightarrow r = -k_{CW}C_{MP}$$

# Modélisation de post-traitements

## Ligne 1 : Constructed Wetland

Efficacité d'élimination des micropolluants (différentes journées)

	BZT						DCF					
	Ce exp (umol/m <sup>3</sup> )	Cs exp (umol/m <sup>3</sup> )	Cs simul (umol/m <sup>3</sup> )	Eff exp (%)	Eff simul (%)	Ecart (%)	Ce exp (umol/m <sup>3</sup> )	Cs exp (umol/m <sup>3</sup> )	Cs simul (umol/m <sup>3</sup> )	Eff exp (%)	Eff simul (%)	Ecart (%)
17/01/2022	14,2	0,13	0,76	99,1%	94,7%	4,4%	2,6	0,90	0,52	65,3%	80,1%	-14,8%
23/03/2022	9,7	0,26	0,52	97,3%	94,7%	2,6%	1,7	0,44	0,35	74,6%	80,1%	-5,5%
23/05/2022	5,8	0,70	0,31	87,9%	94,7%	-6,7%	1,3	0,28	0,27	78,8%	80,1%	-1,3%
17/06/2022	12,8	0,68	0,68	94,7%	94,7%	-0,01%	6,6	0,17	1,31	97,4%	80,1%	17,3%



## Efficacité d'élimination des micropolluants (différentes journées) pour Constructed Wetland (Filtre planté)

Micropolluants	Écart absolu moyen
Iomeprol	0,6%
Diuron	0,8%
Bezafibrate	1,3%
Estrone	1,6%
Clarithromycin	2,1%
Isoproturon	2,9%
Tolytriazole	3,1%
Ibuprofen	3,2%
Caffeine	3,4%
Terbutryn	3,7%
Metoprolol	3,9%
Atenolol	3,9%
Lidocaine	4,3%
Benzotriazole	4,3%
Carbendazim	6,0%
Carbamazepine	6,9%
Diclofenac	7,9%
Sulfamethoxazole-acetyl	9,4%
AMPA	10,2%
Ciprofloxacin	10,8%
Glyphosate	19,5%

<5% : Très bon

5-10% : Bon

10-15% : Assez bon

15-30% : Moyen

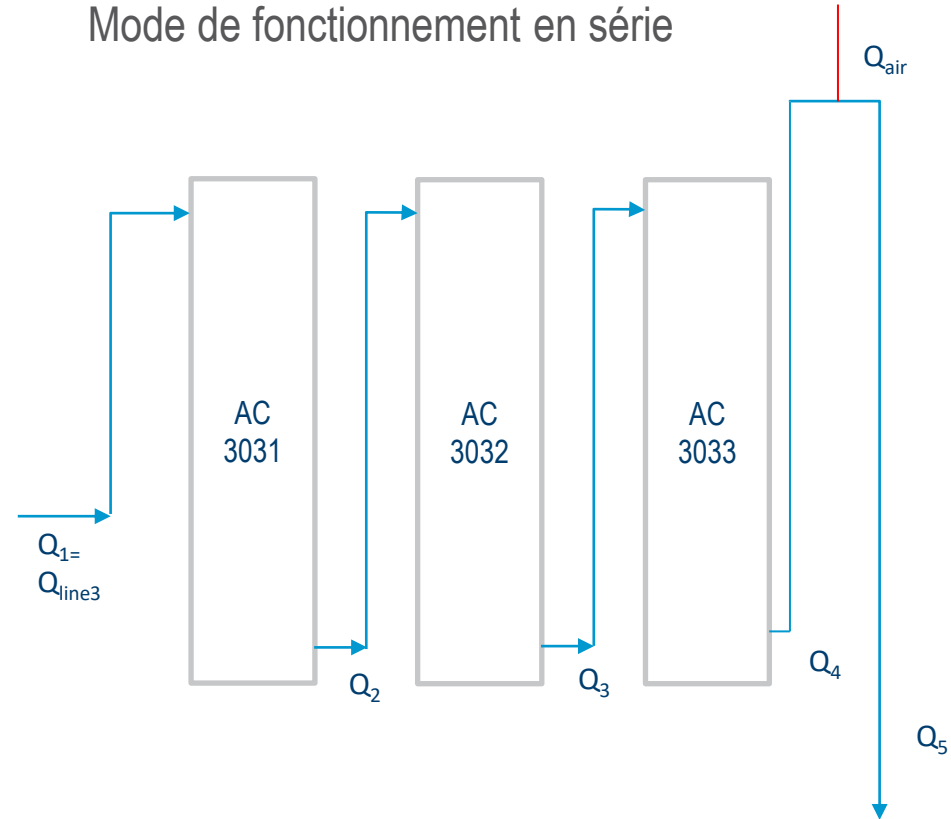
>30% : Valeur approchée  
(ordre de grandeur)

# Modélisation de post-traitements

## Ligne 3 : Colonne de charbon actif



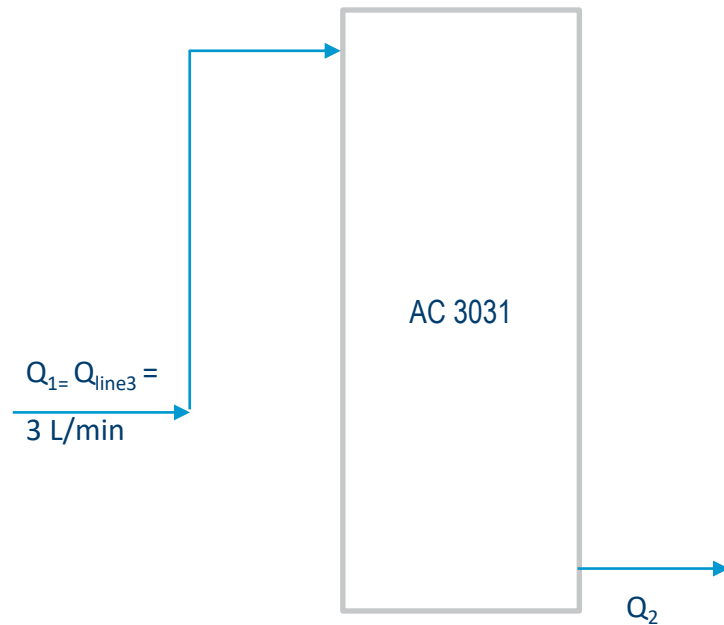
Mode de fonctionnement en série





# Modélisation de post-traitements

## Ligne 3 : Colonne de charbon actif



- **Modèle hydrodynamique** : chaque colonne est comparable à une cascade de RPA
- **Modèle cinétique** : adsorption isotherme (1<sup>er</sup> ordre)

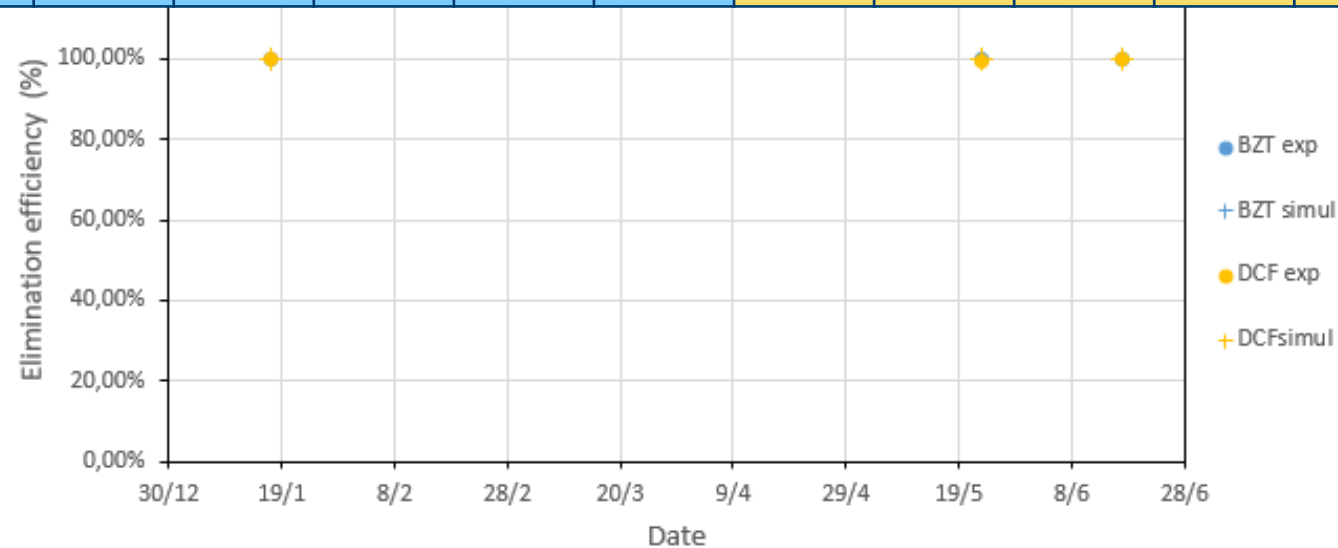
$$r_{AD} = k_{AD} C_{MP}$$

# Modélisation de post-traitements

## Ligne 3 : Colonne de charbon actif

Efficacité d'élimination des micropolluants (différentes journées)

	BZT						DCF					
	Ce exp (umol/m <sup>3</sup> )	Cs exp (umol/m <sup>3</sup> )	Cs simul (umol/m <sup>3</sup> )	Eff exp (%)	Eff simul (%)	Gap (%)	Ce exp (umol/m <sup>3</sup> )	Cs exp (umol/m <sup>3</sup> )	Cs simul (umol/m <sup>3</sup> )	Eff exp (%)	Eff simul (%)	Gap (%)
17/01/2022	14,2	0,05	0,045	99,7%	99,7%	-0,01%	2,6	0,006	0,0062	99,8%	99,8%	0,00%
23/05/2022	5,8	0,02	0,018	99,7%	99,7%	0,01%	1,3	0,007	0,0032	99,5%	99,8%	-0,25%
17/06/2022	12,8	0,02	0,041	99,9%	99,7%	0,18%	6,6	0,007	0,0157	99,9%	99,8%	0,14%



## Efficacité d'élimination des micropolluants (différentes journées) pour Colonne de charbon actif

Micropolluants	Écart absolu moyen
Sucralose	0,02%
Iomeprol	0,02%
Terbutryn	0,03%
Flufenacet	0,03%
Metoprolol	0,05%
Benzotriazole	0,08%
Diclofenac	0,13%
Amidotrizoic acid	0,20%
Tolytriazole	0,37%
Diuron	0,83%
Carbamazepine	0,93%
Lidocaine	1,00%
Carbendazim	1,10%
Clarithromycin	1,30%
Estrone	1,64%
Bezafibrate	2,21%
Isoproturon	2,35%
Ibuprofen	2,68%
Atenolol	3,08%
Sulfamethoxazole-acetyl	3,79%
Caffeine	5,33%
Sulfamethoxazole	6,37%
DEET	9,10%
Ciprofloxacin	9,73%

<5% : Très bon

5-10% : Bon

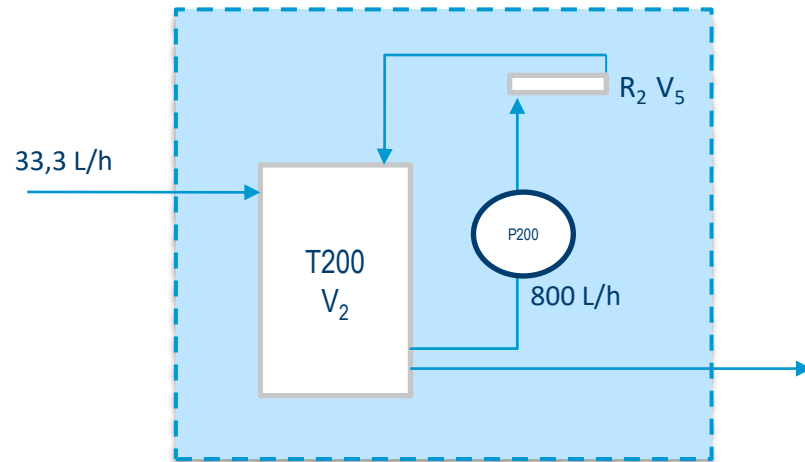
10-15% : Assez bon

15-30% : Moyen

>30% : Valeur approchée  
(ordre de grandeur)

# Modélisation de post-traitements

## Ligne 2 : PhotoFenton

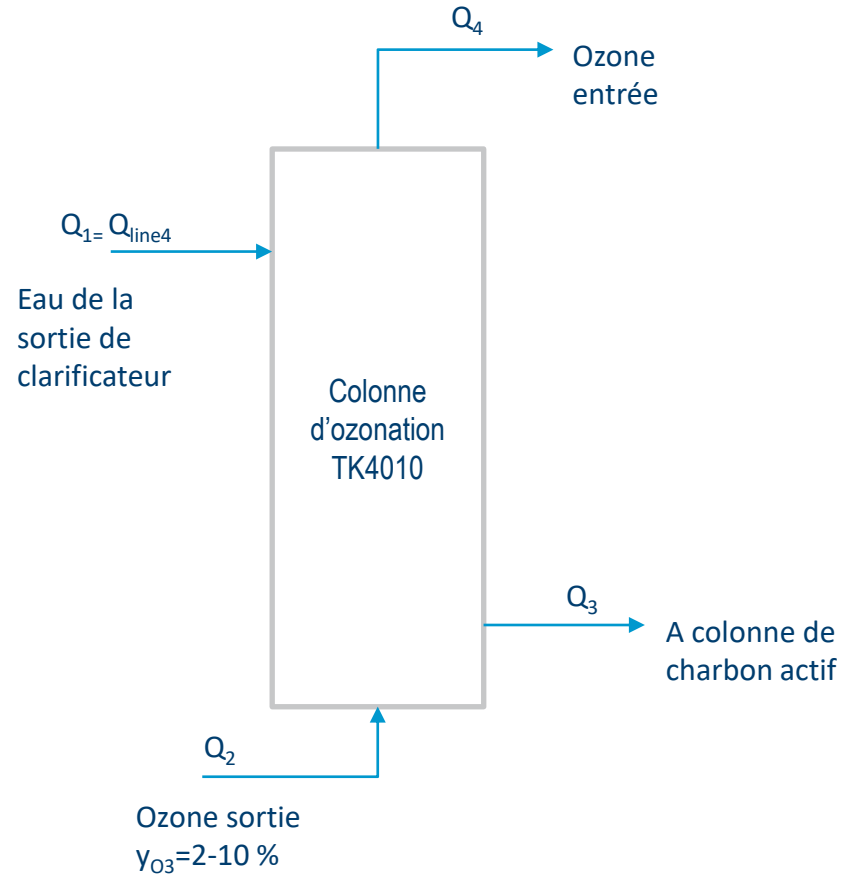


- **Modèle hydrodynamique:** chaque boucle est comparable à un RPA (Circulation interne rapide 800 L/h >> 33,3 L/h)
  - Série de 3 RPAs avec une petite partie de régénération du Fe
- Données : Changement sur le système à la station
  - Adaptation pour l'utilisation des données de laboratoire
  - Valeur indicative



# Modélisation de post-traitements

## Ligne 4 : Ozonation



- **Modèle hydrodynamique** : modèle du cascade de RPA

- **Modèle cinétique** :

- Cinétique de destruction des MPs par Ozone :

$$\begin{aligned} r_M &= k_{O_3} C_{O_3} C_{MP} + k_{OH} C_{OH} C_{MP} \\ &= C_{MP} C_{O_3} (k_{O_3} + k_{OH} R) \end{aligned}$$

- Transfert de l'ozone :

$$-\frac{dC_{O_3}}{dt} = k_L a. (C_{O_3}^* - C_{O_3}). dV - k_d. C_{O_3}$$



## 3ème partie / 3. Teil

# Les innovations sur le marché / Innovationen auf dem Markt

**Présentations flash d'entreprises /** Kürz-  
Präsentationen von Unternehmen

- Lodiag
- John Cockerill
- Zahnen Technik GmbH
- Biostart
- ViewPoint Water Biomonitoring

**Lodiag**



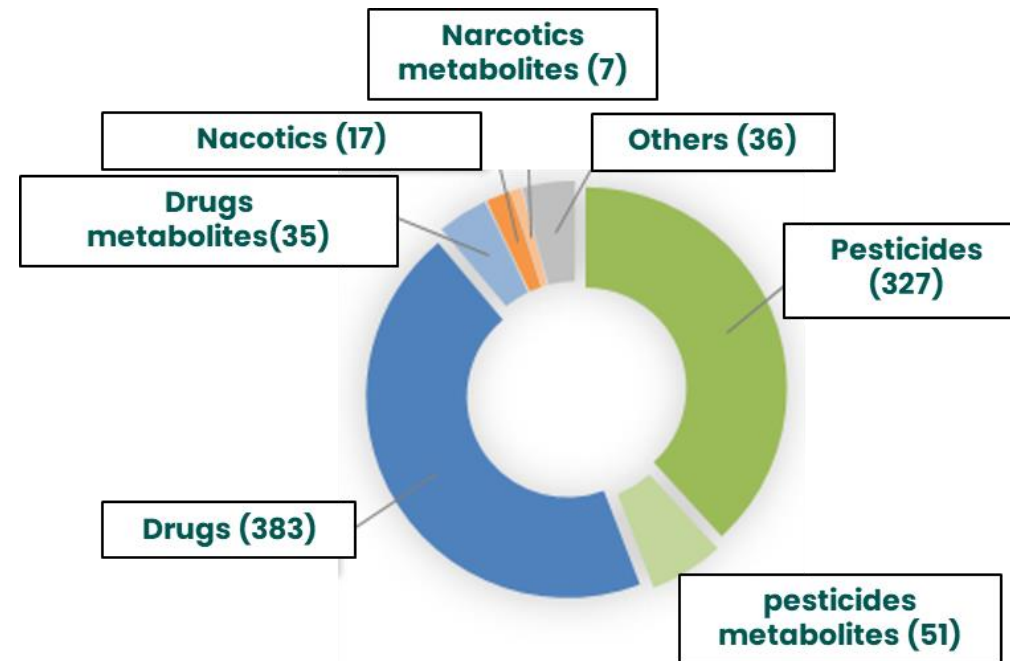
Expertise en analyse  
de micropolluants émergents

**Matthieu NICAULT**

Contact : [sophie.geley@lodiag.com](mailto:sophie.geley@lodiag.com)



- **Entreprise créée en 2018 et basée en Alsace.**
- **Spécialisée dans la recherche de micropolluants organiques émergents dans l'eau douce (ordre du ng/L) à partir de seulement 50 mL.**

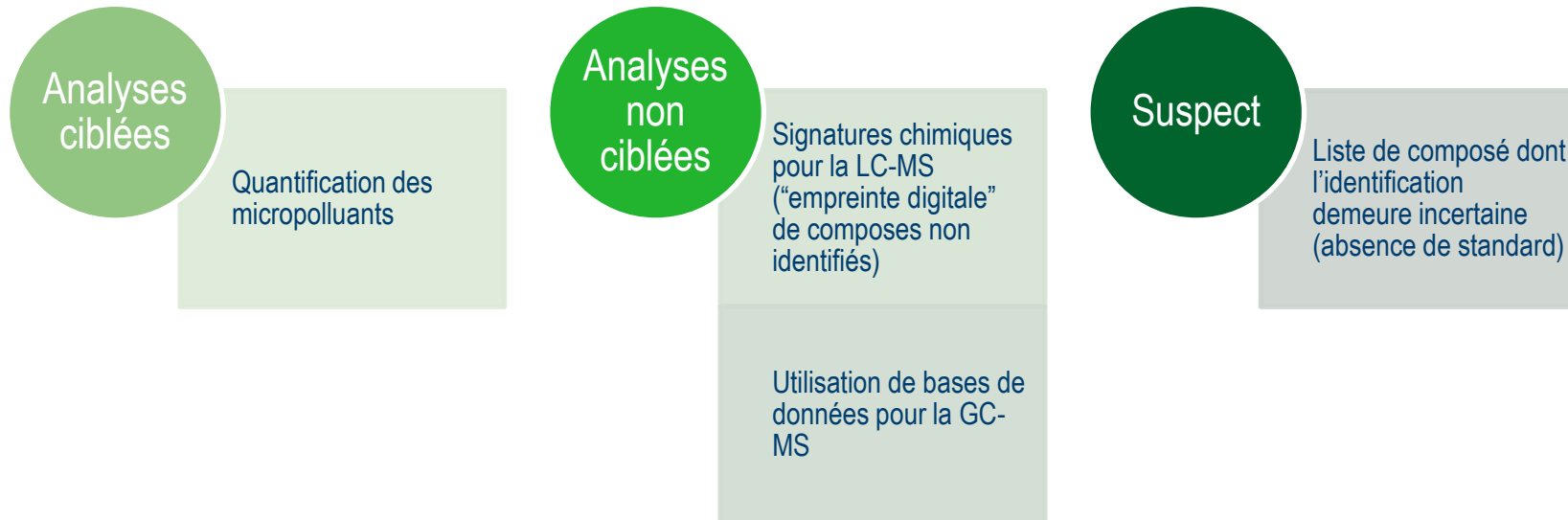


# Lodiag : Innovations en lien avec les micropolluants

## 2 techniques analytiques

SPE en ligne  
LC-MS haute résolution  
Masse précise

SPE hors ligne  
GC-MS basse résolution  
Fragmentation spécifique





# Lodiag : Exemple

---

## Hydroscreen (Projet de recherche)

- Budget total de 1,7 millions d'Euros.
- Financé par le programme "Investissement d'avenir" par l'ADEME.
- En partenariat avec TameWater.
- Participation ouverte à tous (analyses clients confidentielles).

## Objectifs du projet

- Lister les MP détectés en France à un moment donné et un lieu donné
- Tester la toxicité des MP
- Avec le lien entre toxicité et profils chimiques, créer un outil de prédiction de la toxicité uniquement basée sur le profil chimique.

**John Cockerill**



**Contact / Ansprechpartner:  
David Costantini**

Business dvlpt

0479 45 84 64







[David.costantini@johncockerill.com](mailto:David.costantini@johncockerill.com)

# John Cockerill Balteau



- > People : 125
- > Turnover 2021 : 38 M€
- > Located in Sprimont
- > Office space : 1 600m<sup>2</sup>
- > Workshop space : 1 350m<sup>2</sup>

## Activities

					
<ul style="list-style-type: none"><li>&gt; Intake</li><li>&gt; Pumping station</li><li>&gt; Treatment plant</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>&gt; Waterways</li><li>&gt; Roads</li><li>&gt; Rail</li><li>&gt; Airport</li><li>&gt; Turbining</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>&gt; Pumping station</li><li>&gt; Storm bassin</li><li>&gt; River intake</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>&gt; Treatment plant</li><li>&gt; Sludge treatment</li><li>&gt; Biometh.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>&gt; Intake</li><li>&gt; Process water</li><li>&gt; Waste water</li><li>&gt; Reuse</li><li>&gt; Biometh.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>&gt; Associated services and supplies</li></ul>

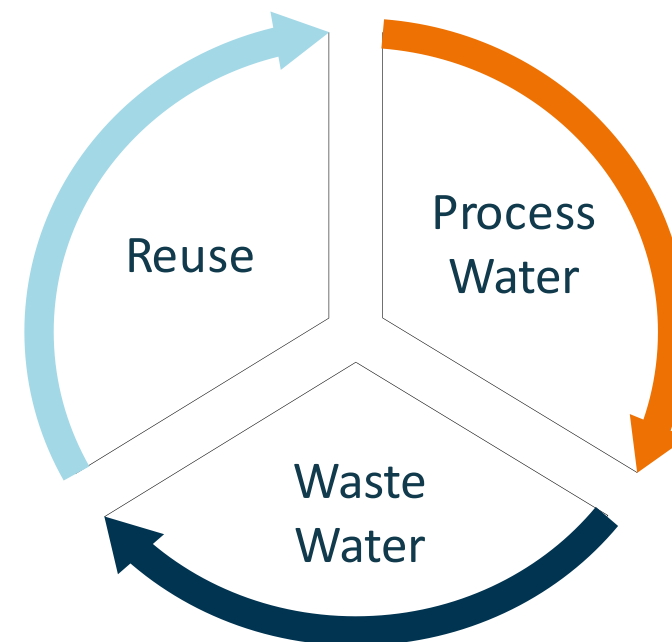
# Industrial Offer – One stop shop approach

 D&B Solutions

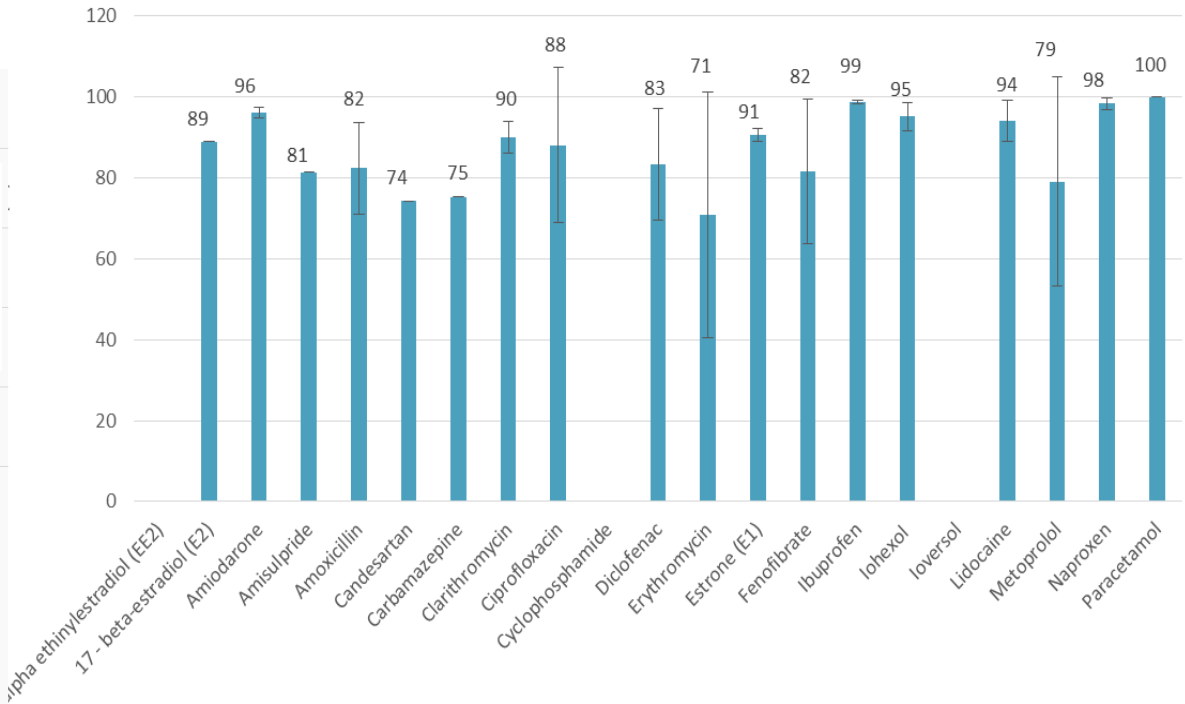
 Associated services



 Technologies –R&D



Business areas	Pharmaceutical Industry
Client	Clinique Saint Pierre
Location	Belgium, Ottignies
Nominal Flow	1 m³/h
Daily Flow	24 m³/d
Description	<p>Waste water treatment: Unique biological treatment of pharmaceutical waste water, for high-performance removal of micropollutants at the source of the pollution.</p> <p><b>Performance:</b> Macro pollution treatment: &gt; 90% Pharma micropollutants treatment: &gt; 95% (overall)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>Based on a <b>biological</b> process</li><li>Low energy consumption</li><li>Modular design</li><li>Easy to integrate into existing units</li><li>Easy to operate</li></ul>







# Zahnen Technik GmbH

→ cf. PDF

**Contact / Ansprechpartner: CTO  
Benedikt NEY**

Mail : [b.ney@zahnen-technik.de](mailto:b.ney@zahnen-technik.de)

Secrétariat / Assistenz: Anna ZIELKE

[a.zielke@zahnen-technik.de](mailto:a.zielke@zahnen-technik.de)

+49 (06550) 9290 - 209

A decorative vertical bar on the left side of the slide, featuring a blurred, high-contrast image of water splashing or bubbles, creating a dynamic, organic texture.

**Biostart → cf. PDF**

**Contact / Ansprechpartner:  
Fabrice GRENARD**

Phone : +33 6 15 38 52 16

Mail : [fabrice.grenard@bio-start.fr](mailto:fabrice.grenard@bio-start.fr)



**ViewPoint → cf. PDF**

**Contact / Ansprechpartner :  
Nicholas SAVALS**

Phone : +33 7 66 21 98 00

Mail : [nsavals@viewpoint.fr](mailto:nsavals@viewpoint.fr)