

Projet LIFE ADSORB

LIFE17 ENV/FR/000398 LIFE ADSORB project is supported by the European Union LIFE program

Le projet LIFE17 ENV/FR/000398 LIFE ADSORB bénéficie du soutien financier du programme LIFE de l'Union européenne

LIFE ADSORB

LIFE17 ENV/FR/000398



Deliverable B.3.4 :

Report user guide -Micropollutant module ORAGE Software

Reporting date

V1	June 2025
----	-----------



SOMMAIRE

I.	Introduction	6
II.	Présentation des mécanismes mis en œuvre	7
II.1.	Jeu de données	7
II.2.	Micropolluants	8
II.3.	Matériaux adsorbants	8
II.4.	Processus pris en compte	8
II.4.1.	Relation entre la fraction particulaire des micropolluants et les MES	8
II.4.2.	Micropolluants sous forme dissoute	8
II.4.2.a.	Adsorption/Désorption	9
II.4.2.b.	Biodégradation	11
II.5.	Informations fournies par le module « Micropolluants »	12
III.	Utilisation du module « Micropolluants »	14
III.1.	Déroulement des étapes du module « Micropolluants »	14
III.2.	Données d'entrée et paramétrage	15
III.3.	Données de sortie	16
IV.	Conclusion	17

Table des figures

Figure 1 : Schématisation de la création du patron permettant de calculer les concentrations en micropolluants en entrée d'un ouvrage de filtre planté de roseaux à écoulement vertical.....	7
Figure 2 : Isothermes d'adsorption du cuivre (Cu) et du zinc (Zn) sur le Rainclean®	9
Figure 3 : Dynamique d'adsorption sur le Rainclean® des micropolluants organiques étudiés dans le projet Life ADSORB.....	10
Figure 4 : Schématisation d'un évènement pluvieux pris en compte dans le logiciel ORAGE pour les calculs des indicateurs de performance du filtre de planté de roseaux	12
Figure 5 : Exemple de représentation des concentrations en micropolluant en entrée, en sortie du filtre planté de roseaux ainsi que les masses apportées, stockées et le taux de saturation du matériau adsorbant fournis par le module « Micropolluants » du logiciel ORAGE.....	13
Figure 6 : Exemple de page de résultats représentant les concentrations et flux maximums pour le paramètre N-NH ₄ ⁺ fournie par le logiciel ORAGE à partir de laquelle le choix de simuler le devenir des micropolluants est possible	14
Figure 7 : Fenêtre de paramétrage utilisateur du module « Micropolluants ».....	15
Figure 8 : Exemple de représentation par boîtes à moustaches et tableau récapitulatif des concentrations en arsenic (As) en entrée et en sortie du filtre planté de roseaux	16

Table des tableaux

Tableau 1 : Valeurs des paramètres des isothermes et cinétique d'adsorption sur le Rainclean® pour chaque micropolluant métallique et organique étudié dans le projet Life ADSORB	11
Tableau 2 : Valeurs des constantes de biodégradation des micropolluants organiques étudiés dans le projet Life ADSORB.....	12

Résumé

Dans le cadre du projet Life ADSORB, le logiciel ORAGE, conçu pour réaliser un premier dimensionnement dynamique des filtres plantés de roseaux destinés au traitement des rejets urbains par temps de pluie, a été enrichi d'un module « Micropolluants ». Ce nouveau module prolonge les fonctionnalités initialement développées pour la Demande Chimique en Oxygène (DCO), les Matières En Suspension (MES) et l'azote (nitrates et ammonium), en intégrant la simulation du devenir des micropolluants métalliques et organiques dans les filtres plantés de roseaux. Il permet de tester diverses configurations de filtres en renseignant des paramètres tels que la surface, la hauteur de matériau adsorbant et les concentrations de micropolluants (formes dissoutes et particulaires) dans l'eau entrante. Les processus simulés – adsorption, désorption, et biodégradation (pour les micropolluants organiques uniquement) – offrent la possibilité d'estimer des indicateurs de performance du filtre planté de roseaux sur une échelle annuelle.

Ce guide décrit en premier lieu les phénomènes pris en compte dans le module « Micropolluants » avant d'aborder précisément l'utilisation du logiciel pour accompagner les utilisateurs.

Le module est disponible au téléchargement dans la rubrique Livrables/livvable B3.

Mots clés

Filtre Planté de roseaux, traitement des rejets urbains de temps de pluie, micropolluants, outil d'évaluation de performance, modélisation

Abstract

As part of the Life ADSORB project, the ORAGE software—originally developed to provide a dynamic preliminary design of treatment wetlands for the treatment of urban wet-weather discharges—has been enhanced with a new “Micropollutants” module. This module builds upon the original version, which focused on Chemical Oxygen Demand (COD), Suspended Solids (SS), and nitrogen (nitrate and ammonium), by adding the simulation of the fate of metallic and organic micropollutants in reed bed filters, using the same hydraulic framework. Users can test different filter configurations by entering parameters such as surface area, adsorbent layer thickness, and inlet micropollutant concentrations, including both dissolved and particulate fractions. The processes considered—adsorption, desorption, and biodegradation (for organic micropollutants only)—enable the estimation of performance indicators for the reed bed system over the course of a one-year period.

This guide first describes the phenomena taken into account in the ‘Micropollutants’ module, before discussing in detail how to use the software to assist users.

The module is available for download in the section Livrables/livvable B3.

Keywords

Treatment wetland, treatment of urban wastewater during rainy weather, micropollutants, design support tool, modelling

I. Introduction

Le logiciel ORAGE a été développé en 2019 par INRAE (Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement) dans le cadre du projet de recherche ADEPTE¹ cofinancé par les Agences de l'eau et L'Office français pour la biodiversité. C'est un outil d'aide au dimensionnement des dispositifs de traitement des eaux pluviales par filtre planté de roseaux à écoulement vertical. Il concerne aussi bien les eaux pluviales provenant de réseaux séparatifs que des surverses de déversoir d'orage (DO) des réseaux unitaires. L'objectif du logiciel n'est pas de définir un dimensionnement unique mais, par une approche de modélisation, de proposer aux constructeurs et aux bureaux d'études des éléments clés de dimensionnement, prenant en compte la dynamique des épisodes pluvieux tout en s'assurant du respect des niveaux de rejet (hydraulique et qualité physico-chimique pour les polluants majeurs tels que la Demande Chimique en Oxygène (DCO), les Matières En Suspension (MES) et l'azote (nitrate et ammonium)) et les contraintes de site. En termes de praticité, l'objectif du logiciel Orage est de représenter simplement les différents processus pris en compte afin de pouvoir simuler sur un temps de calculs relativement court le jeu de données fourni par l'utilisateur sur un pas de temps fin.

Dans le cadre du projet Life ADSORB, le logiciel ORAGE a été amendé d'un module « Micropolluants » pour simuler le devenir des micropolluants organiques et métalliques dans un ouvrage de filtre planté de roseaux à écoulement vertical dont la couche de filtration est composée d'un matériau adsorbant. L'objectif est, comme pour la DCO, les MES et les paramètres azotés (N-NH₄ et N-NO₃), de pouvoir pré-dimensionner un filtre planté de roseaux traitant les rejets par temps de pluie pour les micropolluants en fournissant à l'utilisateur, pour différentes configurations (hauteurs) de matériaux adsorbants, des estimations des concentrations en entrée, en sortie et les rendements de l'ouvrage. La masse de micropolluants apportée et stockée ainsi que le taux de saturation du matériau adsorbant sont des indicateurs calculés par le logiciel permettant ainsi à l'utilisateur de juger de l'efficacité et la durée de vie du matériau adsorbant.

Le module « Micropolluants » pourra être exécuté une fois la première étape du logiciel concernant l'hydraulique et les polluants majeurs réalisée. Il sera donc possible, pour un ouvrage de traitement des eaux pluviales par filtres plantés de roseaux, d'utiliser le logiciel Orage pour (i) simuler seulement les concentrations en polluants majeurs en sortie (première version du logiciel), ou (ii) simuler les concentrations en polluants majeurs en sortie ainsi que les concentrations en micropolluants en sortie et les masses de micropolluants stockés dans le(s) matériau(x) adsorbant(s).

Ce guide décrit en premier lieu les phénomènes pris en compte dans l'algorithme du logiciel avant d'aborder précisément l'utilisation du logiciel pour accompagner les utilisateurs dans leurs projets.

¹ S. Troesch, P. Molle et P. Branchu (2020). ADEPTE (Aide au Dimensionnement pour la gestion des Eaux Pluviales par Traitement Extensif) - Synthèse du projet et recommandations. Disponible sur le site EPNAC (www.epnac.fr).

II. Présentation des mécanismes mis en œuvre

II.1. Jeu de données

En ce qui concerne la partie hydraulique, c'est-à-dire les chroniques de déversements sur une période d'un an ou plus selon la période de retour de l'évènement (pluie) de référence à traiter (jeu de données des volumes déversés à chaque pas de temps fixe et relativement fin, inférieur au quart d'heure), l'utilisateur aura déjà entré ces données lors de la première étape d'exécution du logiciel concernant l'hydraulique et les polluants majeurs (première version du logiciel). À partir de ces données, le logiciel aura réalisé une chronique de pluies d'une période d'un an, la plus contraignante pour le fonctionnement de l'ouvrage. C'est cette chronique de débits qui sera utilisée comme entrée pour simuler le devenir des micropolluants.

Pour ce qui est des micropolluants, l'utilisateur doit fournir, pour chaque micropolluant dont il veut simuler le devenir, une concentration (en $\mu\text{g/L}$) médiane, maximale et minimale mesurées dans les rejets par temps de pluie (réseau pluvial strict ou surverses de réseau unitaire) et qui arrivera sur le filtre planté de roseaux. À partir de ces trois valeurs, le logiciel crée un patron qui simule l'évolution des concentrations des micropolluants en fonction de la chronique de pluie préalablement compilée (année la plus défavorable) lors de la première étape. Le patron suit une règle de dilution établie telle que :

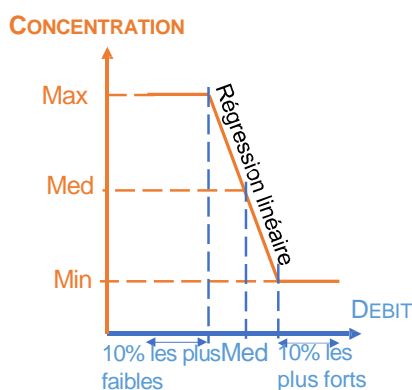


Figure 1 : Schématisation de la création du patron permettant de calculer les concentrations en micropolluants en entrée d'un ouvrage de filtre planté de roseaux à écoulement vertical

- Lorsque le débit est nul : la concentration en micropolluant est nulle ;
- Lorsque le débit est compris entre 0 et 10% des débits les plus faibles : la concentration en micropolluant est égale à la concentration maximale entrée par l'utilisateur ;
- Lorsque le débit est inférieur ou égal au débit médian : la concentration en micropolluant varie entre la concentration maximale et la concentration médiane selon une régression linéaire ;
- Lorsque le débit est compris entre le débit médian et 90% des débits les plus importants : la concentration en micropolluants varie entre la concentration médiane et la concentration minimale selon une régression linéaire ;
- Lorsque le débit est supérieur à 90% des débits les plus importants : la concentration en micropolluant est égale à la concentration minimale entrée par l'utilisateur.

Les concentrations en micropolluants sont entrées en termes de concentrations totales et non différenciées entre les fractions dissoutes et particulaires. Cette distinction entre les deux fractions sera faite dans l'exécution de l'algorithme du logiciel. Le pourcentage de la fraction particulaire pour chaque micropolluant est demandé à l'utilisateur, ainsi les concentrations des deux fractions (particulaire et dissoute) sont calculées pour chaque pas de temps et les processus associés sont appliqués. À la fin des simulations les concentrations des deux fractions sont sommées et ce sont les concentrations globales en micropolluants qui sont fournies à l'utilisateur.

II.2. Micropolluants

Le devenir des micropolluants métalliques et des micropolluants organiques étudiés dans le projet Life ADSORB pourra être simulé dans le logiciel Orage, tels que :

- Micropolluants métalliques : **Arsenic, Cadmium, Chrome, Cuivre, Nickel, Plomb, Vanadium, Zinc.**
- Micropolluants organiques: **4-nonylphénol (NP), 4-tert-octylphenol (OP) et Bisphénol-A (BPA).**

L'utilisateur peut aussi simuler le devenir d'un micropolluant qui n'a pas été étudié dans le projet Life ADSORB, mais cela nécessitera comme précisé ultérieurement une caractérisation préalable des paramètres de cinétique et isotherme d'adsorption/désorption de ce micropolluant vis-à-vis du matériau adsorbant choisi.

Le devenir de trois micropolluants maximum peut être simulé en même temps.

II.3. Matériaux adsorbants

Le matériau adsorbant étudié dans le projet Life ADSORB, le Rainclean®, est proposé par défaut à l'utilisateur, avec toutes les valeurs liées aux processus de traitement des micropolluants étudiés dans le projet déjà entrées dans le module. Il est possible de simuler le devenir des micropolluants avec d'autres matériaux adsorbants que le Rainclean® mais dans ce cas, les valeurs liées au processus de traitement doivent être entrées par l'utilisateur.

Il est possible de choisir la hauteur pour chaque matériau adsorbant.

II.4. Processus pris en compte

Les processus pris en compte dans le module « Micropolluants » concernent uniquement les processus liés au devenir des micropolluants selon leur type, métallique ou organique. Les processus liés à l'hydraulique du système sont identiques à ceux pris en compte pour la simulation du devenir des polluants majeurs, comme développé dans la version initiale du logiciel.

II.4.1. Relation entre la fraction particulaire des micropolluants et les MES

L'abattement des micropolluants sous forme particulaire est lié à celui des MES (piégeage des micropolluants particuliers liés au MES dans la couche de filtration). Ainsi, le rendement de la fraction particulaire des micropolluants est calculé sur la base d'un rendement de 80%.

II.4.2. Micropolluants sous forme dissoute

De manière générale, pour les micropolluants sous forme dissoute leur abattement peut être dû à (i) leur piégeage dans le matériau filtrant via leur adsorption dans la couche de matériau adsorbant (micropolluants métalliques et organiques) et/ou (ii) leur biodégradation par les microorganismes présents dans l'ouvrage (seulement pour les micropolluants organiques biodégradables).

Ainsi, pour les micropolluants métalliques dissous, les processus d'adsorption et de désorption sont pris en compte. Pour les micropolluants organiques dissous, les processus d'adsorption, de désorption et de biodégradation sont pris en compte. Ces processus ne se produisent que dans la couche de matériau adsorbant. On ne tient pas compte de la couche de dépôt et de son impact admettant que le dépôt ne fait qu'améliorer les performances et que les résultats fournis sont les performances obtenues dans le cas le moins favorable.

II.4.2.a. Adsorption/Désorption

Les étapes d'adsorption et de désorption des micropolluants dissous se font dans les parties de filtres saturées en eau.

- **ADSORPTION.**

L'adsorption de la fraction dissoute des micropolluants est réalisée selon une isotherme d'adsorption. L'isotherme représente l'équilibre entre la concentration en solution et la masse adsorbée sur un matériau (Tableau 1).

Tableau 1 : Les trois isothermes d'adsorption proposés dans le module « Micropolluants » : isotherme linéaire, de Langmuir et de Freundlich

Isotherme linéaire	Isotherme de Langmuir	Isotherme de Freundlich
$q_e = K_D C_e$	$q_e = \frac{q_m k_L C_e}{1 + k_L C_e}$	$q_e = K_F C_e^{n_F}$
<p>q_e : la capacité d'adsorption à l'équilibre = quantité adsorbée par unité de masse d'adsorbant (mg/g)</p> <p>C_e : la concentration dans la solution à l'équilibre (mg/L)</p> <p>K_D : le coefficient de partage adsorbant-eau, lié à l'adsorption d'une substance dissoute sur la matrice (L/g)</p>	<p>q_e : la capacité d'adsorption à l'équilibre = quantité adsorbée par unité de masse d'adsorbant (mg/g)</p> <p>C_e : la concentration dans la solution à l'équilibre (mg/L)</p> <p>q_m : la capacité maximale d'adsorption (mg/g)</p> <p>k_L : la constante d'équilibre de Langmuir (L/mg)</p>	<p>q_e : la capacité d'adsorption à l'équilibre = quantité adsorbée par unité de masse d'adsorbant (mg/g)</p> <p>C_e : la concentration dans la solution à l'équilibre (mg/L)</p> <p>K_F et n : les paramètres constants empiriques du modèle</p>

Pour les micropolluants étudiés dans le projet Life ADSORB les isothermes ont été calées pour le Rainclean® en batch en laboratoire ou par modélisation inverse (Figure 2). Les valeurs des paramètres associées aux isothermes sont déjà entrées dans le module « Micropolluants ».

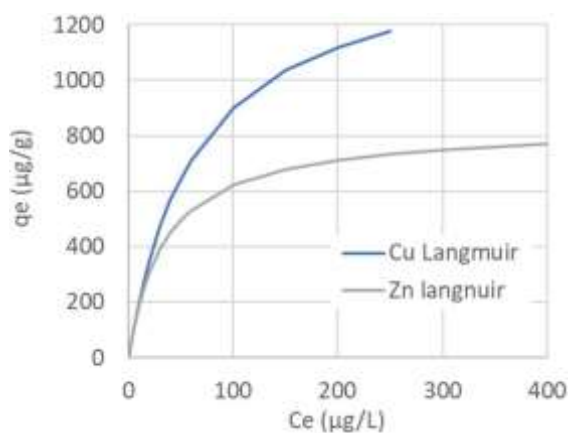


Figure 2 : Isothermes d'adsorption du cuivre (Cu) et du zinc (Zn) sur le Rainclean®

Si l'utilisateur choisit un autre matériau adsorbant ou un autre micropolluant que ceux étudiés dans le projet Life ADSORB, trois isothermes sont proposées : l'isotherme linéaire, l'isotherme de Langmuir et l'isotherme de Freundlich (Tableau 1). L'utilisateur entre manuellement les valeurs des paramètres associés à l'isotherme choisie.

Une vitesse d'adsorption peut être considérée. Une seule cinétique d'adsorption est proposée : la cinétique de pseudo-premier ordre.

Modèle	Équation	Solution
Pseudo-premier ordre	$\frac{dq_t}{dt} = k_1 (q_e - q_t)$	$q_t = q_e(1 - e^{-k_1 t})$

q_t : la quantité de micropolluant adsorbée par unité de masse d'adsorbant au temps t (mg/g)
 q_e : la quantité de micropolluant adsorbée par unité de masse d'adsorbant à l'équilibre (mg/g)
 k_1 : la constante de vitesse du processus d'adsorption de pseudo-premier ordre (1/min)

Comme pour l'isotherme, pour les micropolluants étudiés dans le projet Life ADSORB la cinétique a été calée pour le Rainclean® en batch en laboratoire ou par modélisation inverse (Figure 3). La valeur du paramètre associé est déjà entrée dans le module. Pour un autre matériau adsorbant ou un autre micropolluant, l'utilisateur doit entrer la valeur de la cinétique manuellement. Si l'utilisateur souhaite approcher une adsorption instantanée en négligeant la cinétique du processus d'adsorption, il doit alors attribuer lui-même une valeur élevée au paramètre cinétique k_1 . Par exemple, pour que la quantité adsorbée q_t atteigne 99 % de la capacité d'équilibre q_e , k_1 devra être fixé à $0,92 \text{ min}^{-1}$ pour un pas de temps de 5 minutes, et à $0,31 \text{ min}^{-1}$ pour un pas de temps de 15 minutes.

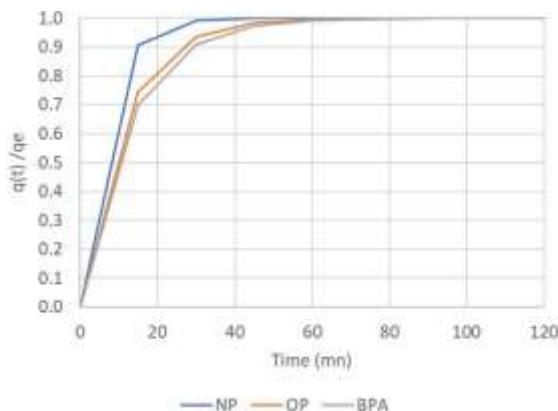


Figure 3 : Dynamique d'adsorption sur le Rainclean® des micropolluants organiques étudiés dans le projet Life ADSORB

Le Tableau 2 indique les valeurs des paramètres des isothermes et cinétique d'adsorption sur le Rainclean® pour chaque micropolluant métallique et organique étudié dans le projet Life ADSORB.

Tableau 2 : Valeurs des paramètres des isothermes et cinétique d'adsorption sur le Rainclean® pour chaque micropolluant métallique et organique étudié dans le projet Life ADSORB

			As	Cd	Cr	Ni	Pb	V	OP	NP
Isotherme	Linéaire	Kd [L/kg]	372	409	3	73	4999	70	8890	10298
Cinétique	Pseudo-premier ordre	k ₁ [min ⁻¹]	1.16E-02	4.02E-03	1.66E-02	3.11E-03	4.49E-02	1.25E-02	9.12E-02	1.58E-01

			Cu	Zn	BPA
Isotherme	Langmuir	qm [µg/g]	1995	884	14
		KL [L/µg]	9.75E-04	5.72E-03	1.02
Cinétique	Pseudo-premier ordre	k ₁ [min ⁻¹]	1.10E-04	3.97E-05	8.03E-02

- **DESORPTION.**

La désorption d'une molécule de la phase solide du milieu poreux se produit lorsque la concentration, de cette même molécule, dans la phase liquide diminue (par apport d'eau moins concentrée), afin d'atteindre un équilibre entre la phase liquide et solide.

La désorption des micropolluants stockés a lieu pendant les phases d'alimentation en prenant en compte la phase de court-circuit hydraulique en début d'évènement. Ainsi, les micropolluants sont lessivés là où passe l'eau. Le lessivage est calculé suivant une isotherme de désorption, à l'instar de l'adsorption. Dans le module « Micropolluants » l'isotherme d'adsorption est considérée comme réversible pour plus de simplicité, comme cela est le cas généralement. Ainsi, l'isotherme de désorption est la même que l'isotherme d'adsorption.

II.4.2.b. Biodégradation

Dans le module « Micropolluants », la biodégradation n'a pas besoin de suivre une étape de désorption pour pouvoir se faire. La biodégradation des micropolluants organiques peut se faire directement sur la partie adsorbée, pendant les périodes de repos, en tenant compte des cinétiques associées. Une seule cinétique de biodégradation est proposée : le modèle Single First-Order.

$$qB_t = qB_{t-1} * e^{-k*t}$$

Avec, qB_t, la quantité de micropolluant organique biodégradée (mg/g) au pas de temps t (jour), qB_{t-1}, la quantité de micropolluant organique adsorbée (mg/g) au début de la phase de repos ou au temps de repos précédent, k : la constante de vitesse de dégradation (1/jour).

Pour les micropolluants organiques étudiés dans le projet Life ADSORB la cinétique a été calée pour le Rainclean® par ajustement des mesures obtenues en laboratoire (Tableau 3). La valeur du paramètre associé est déjà entrée dans le module². Pour un autre matériau adsorbant ou un autre micropolluant organique, l'utilisateur doit entrer la valeur de la cinétique manuellement. Si l'utilisateur ne considère aucune biodégradation des micropolluants organiques, la valeur de la constante de vitesse de dégradation doit être nulle.

² Julia Roux. Devenir des micropolluants dans un filtre planté de roseaux traitant les eaux de ruissellement de voirie – Importance des communautés microbiennes. Sciences de l'environnement. UPEC UP12 - Université Paris-Est Créteil Val-de-Marne - Paris 12, 2024. Français.

Tableau 3 : Valeurs des constantes de biodégradation des micropolluants organiques étudiés dans le projet Life ADSORB

		BPA	OP	NP
Constante de biodégradation	k [jour ⁻¹]	0,296	0,144	0,136

II.5. Informations fournies par le module « Micropolluants »

Le logiciel ORAGE simule le devenir des micropolluants sélectionnés par l'utilisateur à un pas de temps fin (5 – 15 minutes suivant le jeu de données utilisateur fourni lors de la première étape concernant l'hydraulique et les polluants majeurs) sur une longue période (un an). Il permet de représenter les niveaux de rejets atteignables afin de guider le concepteur sur les choix stratégiques de dimensionnement (surface du filtre planté de roseaux, hauteur de matériau adsorbant).

Les indicateurs de performance du filtre planté de roseaux simulé sont calculés à l'échelle de chaque évènement pluvieux comme présenté par la Figure 4. Un évènement pluvieux (étant une période où le filtre est alimenté jusqu'à la fin du débit de sortie) est simulé sur une plage de temps supérieure à 6 h. La concentration moyenne de sortie est alors calculée sur une période de 6 à 24 h. Si le débit de sortie dure plus de 24 h, cette moyenne 24 h glisse dans le temps jusqu'à la fin de l'évènement pluvieux. Un évènement pluvieux prend fin après 24 h sans débit de sortie.

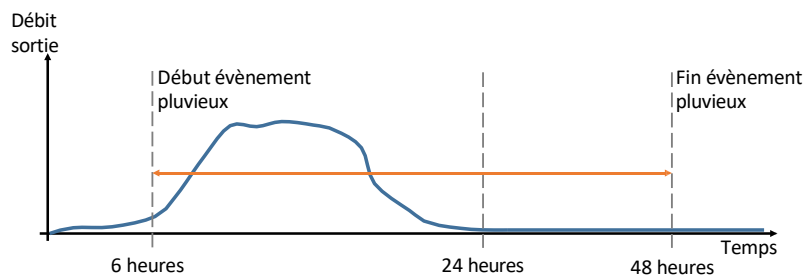


Figure 4 : Schématisation d'un évènement pluvieux pris en compte dans le logiciel ORAGE pour les calculs des indicateurs de performance du filtre de planté de roseaux

Ainsi, pour chaque évènement pluvieux, les concentrations en micropolluants en entrée et en sortie du filtre planté de roseaux pour l'année considérée sont calculées en prenant en compte la concentration moyenne entrante et la concentration maximale sortante, respectivement. Le logiciel fournit, pour chaque micropolluant choisi par l'utilisateur, les concentrations minimales, moyennes, médianes et maximales, pour la surface considérée ainsi que le matériau adsorbant et sa hauteur mis en œuvre. De même, la masse apportée, stockée et le taux de saturation annuels pour chaque micropolluant sont indiqués (Figure 9).

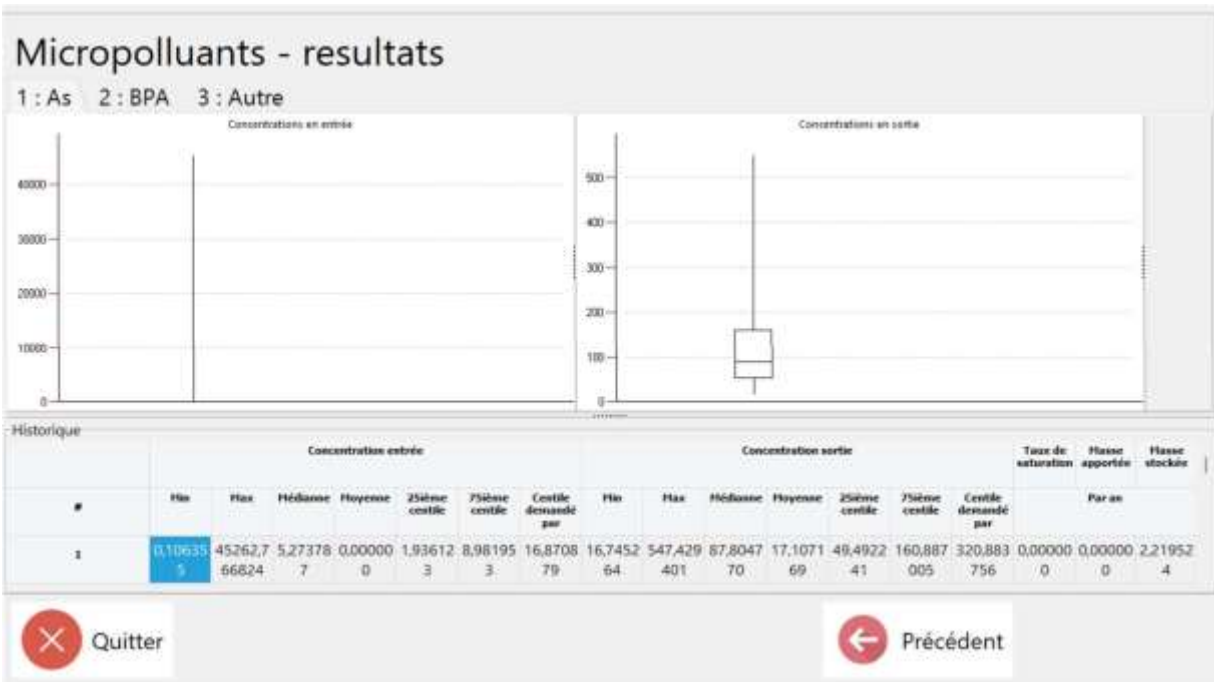


Figure 5 : Exemple de représentation des concentrations en micropolluant en entrée, en sortie du filtre planté de roseaux ainsi que les masses apportées, stockées et le taux de saturation du matériau adsorbant fournis par le module « Micropolluants » du logiciel ORAGE

III. Utilisation du module « Micropolluants »

III.1. Déroulement des étapes du module « Micropolluants »

Les différentes étapes à réaliser successivement pour simuler le devenir des micropolluants sont :

1. Faire tourner le logiciel Orage pour l'hydraulique et les polluants majeurs (première version du logiciel).
2. Une fois les résultats affichés pour l'hydraulique et les polluants majeurs, le logiciel propose à l'utilisateur de simuler le devenir des micropolluants via une flèche « Suivant (Micropolluants) » en bas de l'écran (Figure 6).
3. Si l'utilisateur souhaite simuler le devenir des micropolluants, les critères suivants doivent être renseignés :
 - a. Surface du filtre planté de roseaux.
 - b. Choix du/des micropolluants à simuler.
 - c. Choix du/des matériaux adsorbants.
4. Faire tourner le module « Micropolluants ».
5. Orage fournit des résultats sous forme de boîtes à moustaches et de tableau récapitulatif.

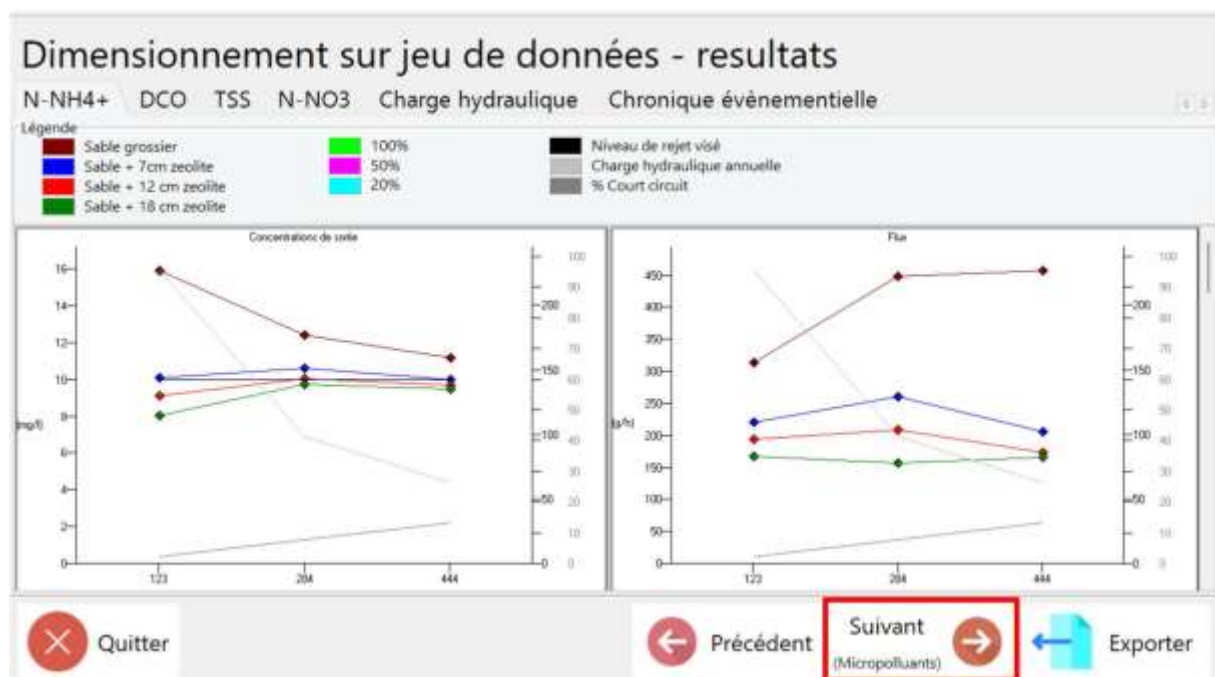


Figure 6 : Exemple de page de résultats représentant les concentrations et flux maximums pour le paramètre N-NH₄⁺ fournie par le logiciel ORAGE à partir de laquelle le choix de simuler le devenir des micropolluants est possible

III.2. Données d'entrée et paramétrage

La surface du filtre est un paramètre à entrer. Le choix peut être fait en fonction des résultats obtenus pour l'hydraulique et les polluants majeurs lors de la première étape (première version du logiciel).

Le nombre de micropolluants à simuler peut être compris entre 1 et 3 maximum, qu'il ait été étudié dans le projet Life ADSORB ou non. Pour chaque micropolluant, il est nécessaire d'entrer, son type (métallique ou organique), son nom (parmi la liste proposée ou « Autre »), les concentrations minimale, médiane et maximale connues ainsi que la fraction particulaire. Si le choix se porte sur « Autre », son nom est à entrer.

Un matériau adsorbant différent peut être sélectionné pour chaque micropolluant. Par défaut le Rainclean®, étudié dans le projet Life ADSORB, est sélectionné mais il est possible de choisir un autre matériau adsorbant en sélectionnant dans le menu déroulant « Autre » et en indiquant son nom. La hauteur ainsi que la masse volumique du matériau adsorbant sélectionné sont demandées (masse volumique entrée par défaut pour le Rainclean®).

Pour les paramètres d'adsorption, isotherme et cinétique, si le micropolluant sélectionné est un micropolluant étudié dans le projet Life ADSORB et que le matériau adsorbant sélectionné est le Rainclean®, les valeurs des paramètres de la cinétique et de l'isotherme d'adsorption sont déjà indiquées (et non modifiables). En revanche, si le micropolluant sélectionné est un micropolluant non étudié dans le projet Life ADSORB (« Autre ») et/ou que le matériau adsorbant sélectionné est autre que le Rainclean®, alors les valeurs des paramètres sont à entrer par l'utilisateur.

Il en va de même pour la biodégradation (micropolluants organiques seulement), la valeur du paramètre de la cinétique est déjà entrée par défaut ou non selon si ce micropolluant a été étudié ou non conjointement avec ou sans le Rainclean® dans le projet Life ADSORB. Si le micropolluant sélectionné est un micropolluant métallique, la section concernant la biodégradation n'apparaît pas.

The screenshot shows a software window titled "Paramétrage pour le devenir des micropolluants". The interface is organized into several sections:

- Surface:** 250 m²
- Percentile:** 85 %
- Nombre de micropolluants:** 1

Micropolluant 1:

- Type:** Métallique
- Nom:** As
- Nom si autre:** [Empty field]

Concentration:

- Médian:** 100 ug/L
- Maximum:** 200 ug/L
- Minimum:** 50 ug/L
- Fraction particulaire:** 30 %

Matériau adsorbant:

- Nom si autre:** [Empty field]
- Hauteur:** 40 cm
- Masse volumique:** 950 kg/m³

Cinétique d'adsorption: 0,01160 l/min

Isotherme:

- Kd:** 372 L/g
- Linéaire:** [Checked]

At the bottom, there are navigation buttons: "Quitter" (red X), "Précédent" (left arrow), "Défaut" (circular arrow), and "Suivant" (right arrow).

Figure 7 : Fenêtre de paramétrage utilisateur du module « Micropolluants »

L'utilisateur peut également choisir le percentile des concentrations en entrée et en sortie pour chaque micropolluant qu'il souhaite voir affiché dans les résultats (non obligatoire). Les percentiles 25, 50 et 75 ainsi que les valeurs minimales et maximales étant par défaut toujours présentées.

III.3. Données de sortie

Les données de sortie sont représentées dans différents onglets, chacun associé à un micropolluant (Figure 8). Dans chaque onglet sont représentées :

- Dans la partie haute : la répartition des concentrations en micropolluant (en $\mu\text{g/L}$) entrantes (à gauche) et sortantes (à droite) du filtre planté de roseaux sur l'année considérée (chronique de pluie préalablement compilée comme année la plus défavorable) sous forme de boîte à moustaches (les extrémités de la barre verticale représentent les valeurs minimales et maximales, le rectangle intermédiaire englobe 50 % des données et le trait horizontal séparant ce rectangle en deux correspond à la médiane).
- Dans la partie basse : un tableau récapitulatif résumant les valeurs de la répartition ainsi que le percentile demandé par l'utilisateur des concentrations en micropolluant (en $\mu\text{g/L}$) entrantes et sortantes. Les masses (g) de micropolluants apportées et stockées par an ainsi que le taux de saturation annuel du matériau adsorbant (g/kg) sont indiqués.

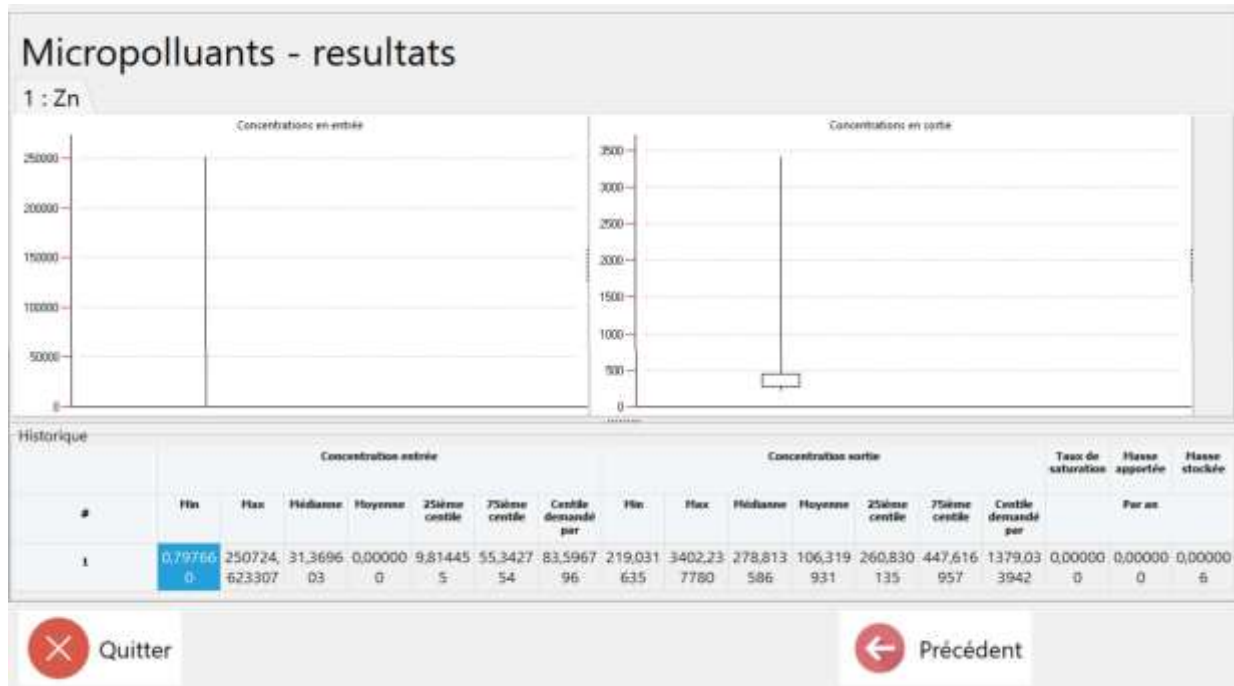


Figure 8 : Exemple de représentation par boîtes à moustaches et tableau récapitulatif des concentrations en arsenic (As) en entrée et en sortie du filtre planté de roseaux

IV. Conclusion

Le logiciel ORAGE, permettant par une approche dynamique un premier dimensionnement des filtres plantés de roseaux pour le traitement des rejets urbains de temps de pluie, a été amendé d'un module « Micropolluants » dans le cadre du projet Life ADSORB. Ce module permet de simuler, à la suite de la première version du logiciel développé pour la Demande Chimique en Oxygène (DCO), les Matières En Suspension (MES) et l'azote (nitrate et ammonium), le devenir des micropolluants métalliques et organiques dans un filtre planté de roseaux sur les mêmes bases hydrauliques. Ainsi, il est possible de tester différentes configurations de filtres plantés de roseaux en renseignant des caractéristiques telles que la surface, la hauteur de matériau adsorbant pour différentes teneurs en micropolluants dans les eaux entrantes en jouant sur les concentrations et la fraction particulaire. Les processus pris en compte dans le module « Micropolluants » tels que l'adsorption, la désorption et la biodégradation (uniquement pour les micropolluants organiques) permettent d'obtenir des indicateurs de performance du filtre planté de roseaux sur une année.