CSD INGÉNIEURS SA
Chemin de Montelly 78
Case postale 302
CH-1000 Lausanne 16
+41 21 620 70 00
lausanne@csd.ch
www.csd.ch

CSDINGENIEURS
INGÉNIEUX PAR NATURE

Naldeo GROUP



STEP de Dijon ODIVEA

Odivea

Etudes de filières Dijon Micropolluants

Rapport d'étude financée par l'Agence de l'Eau RMC

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté Égalité Fraternité

agence de l'eau RHÔNE MÉDITERRANÉE CORSE

Lausanne, le 11.11.2024 / FCH014007

CSDINGENIEURS
INGÉNIEUX PAR NATURE

Table des matières

1 Présentation et déroulement de l'étude de filières 1

1.1 Objectif principal 1

1.2 Phasage 1

1.3 Méthodologique de la Phase 1 1

1.4 Méthodologique de la Phase 2 2

2 Données de base (Phase 1) 2

2.1 Données mises à disposition par Odivea 2

2.2 Présentation de la Step de Dijon (Eau Vitale) 3

2.3 Scénarios V1 et V2 conditions de traitement de la nouvelle installation de traitement des micropolluants et microplastiques 3

2.4 Débits à considérer pour la nouvelle installation de traitement des micropolluants et microplastiques 4

2.5 Concentrations de polluants à considérer 4

2.5.1 Bilan des polluants en entrée du futur traitement quaternaire 5

2.5.2 Métaux lourds dans les eaux brutes et en entrée du futur traitement quaternaire 6

2.5.3 Abattements des microplastiques par la station d'épuration actuelle 6

2.6 Objectifs de traitements de la nouvelle installation de traitement quaternaire 7

2.7 Contraintes spatiales et hydrauliques 8

2.7.1 Implantation de la future installation de traitement des micropolluants et microplastiques 8

2.7.2 Calage hydraulique de la nouvelle installation de traitement des micropolluants et microplastiques 9

3 Filières de traitement (Phase 1) 10

3.1 Introduction 10

3.2 Relevage des effluents à traiter 11

3.3 Dégrillage des effluents à traiter 12

3.4 Traitement des micropolluants : introduction 13

3.5 Traitement des micropolluants : filières de traitement 15

3.5.1 Traitement par charbon actif (général) 15

3.5.2 Traitement par charbon actif en poudre (CAP) + sédimentation + filtration sur sable **Procédé 01 et 01 bis** 16

3.5.3 Traitement par charbon actif en poudre (CAP) lit de boues ou Pulsagreen + filtration sur sable **Procédé 02 et 02 bis** 20

3.5.4 Traitement par charbon actif en poudre (CAP) direct + filtration sur sable AKTIFILT **Procédé 03 et 03 bis** 23

3.5.5 Traitement par charbon actif en poudre (CAP) Dosage direct CAP dans Biologie + Filtration à sables **Procédé 04** 27

3.5.6 Dosage CAP dans traitement Biologique et filtration membranaire MBR **Procédé 5** 29

3.5.7 Traitement par charbon actif (Charbon actif en micro-grain) **Procédé 6** 31

3.5.8 Traitement par charbon actif en Grain ou CAG à flux descendant **Procédé 7** 34

3.5.9 Traitement par charbon actif en Grain ou CAG à flux ascendant **Procédé 7 bis** 36

3.5.10 Traitement des micropolluants par ozonation (et filtre à sables) **Procédé 08**.....39
3.5.11 Procédé combiné Traitement par Ozonation + Charbon Actif en Poudre + Filtres à sables **Procédé 9** 44
3.5.12 Procédé combiné Traitement par Ozonation + Charbon Actif en Grain **Procédé 10**.....47
3.6 Traitement des micropolluants : Analyse multicritère 50
3.7 Traitement des microplastiques.....53
3.7.1 Introduction 53
3.7.2 Analyse comparative des technologies.....54
3.7.3 Conclusion 54
3.8 Traitement des métaux lourds 55
3.8.1 Introduction 55
3.8.2 Conclusion 55

4 Filière de traitement globale : micropolluants + métaux lourds + microplastiques (Phase 2) 56
4.1 Introduction.....56
4.2 **Solution 1** : Coagulation (floculation optionnelle) – Correction de pH et filtre Charbon Actif en Grain 56
4.3 **Solution 2** : Pulsagreen + Filtre + Filière boues quaternaires 57

5 Estimation des couts d'investissement et d'exploitation pour les deux filières globales de traitement des micropolluants + microplastiques + métaux lourds (phase 2).....59
5.1 Introduction.....59
5.2 Couts d'investissement ou CAPEX.....59
5.3 Couts d'exploitation ou OPEX 59

6 Conclusion (Phase 2).....62

7 Impressum 63

8 Disclaimer 63

CSDINGENIEURS
INGÉNIEUX PAR NATURE

Liste des figures

Figure 1 : Données mise à disposition pour Odivea 2
Figure 2 : Schéma procédé STEP Eau Vitale (file eau) 3
Figure 3 : Tableau des bilans des débits à traiter pour la nouvelle installation de de traitement des micropolluants et microplastiques 4
Figure 4 : Tableau des bilans des concentrations à traiter en entrée de la nouvelle installation de traitement quaternaire avec commentaires 5
Figure 5 : Tableau des bilans des concentrations à traiter en entrée de la nouvelle installation de traitement quaternaire sans commentaires 5
Figure 6 : Tableau des concentrations en métaux lourds dans les eaux brutes et les eaux traitées de la Step EauVitale (Dijon). 6
Figure 7 : Tableau des abattements en métaux lourds par la Step Eauvitale (Dijon) existante. 6
Figure 8 : Tableau des objectifs de traitement. 7
Figure 9 : Présentation surface disponible pour la nouvelle installation de traitement des micropolluants et microplastiques 8
Figure 10 : Présentation surface disponible pour la nouvelle installation de traitement des micropolluants et microplastiques 8
Figure 11 : Schéma des filières globales possibles de traitement pour l'installation de traitement des micropolluants et microplastiques 10
Figure 12 : Profil journalier du débit de la sortie station d'épuration Eauvitale 11
Figure 13 : Vue schématique d'un dégrilleur fin 12
Figure 14 : Vue schématique d'un traitement des micropolluants par Ozonation ... **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 15 : Tableau de dimensionnement de l'ozonation et de la filtration à sables **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 16 : Référence d'installation de traitement des micropolluants par Ozonation **Erreur ! Signet non défini.**
Figure 17 : Présentation des différents types de Charbon Actif 15
Figure 18 : Vue schématique d'un traitement des micropolluants par charbon actif en poudre (CAP) + sédimentation + filtration sur sable 16
Figure 19 : Tableau de dimensionnement de la filière charbon actif en poudre (CAP) + sédimentation + filtration sur sable 17
Figure 20 : Référence d'installation de traitement des micropolluants par CAP Ulmer 18
Figure 21 : Schéma de la filière de traitement des micropolluants par CAP avec filière de traitement des boues 19
Figure 22 : Vue en 3D d'un décanteur lamellaire Pulsagreen 20
Figure 23 : Schéma de la filière décanteur lamellaire Pulsagreen 20
Figure 24 : Dimensionnement de la filière Pulsagreen 21
Figure 25 : Schéma de la filière de traitement des micropolluants par CAP avec filière de traitement des boues 22
Figure 26 : Schéma de la filière de traitement des micropolluants par CAP Aktifilt 23
Figure 27 : Dimensionnement de la filière de traitement des micropolluants par CAP Aktifilt 24
Figure 28 : Référence d'installation de traitement des micropolluants par procédé AKTIFILT 25
Figure 29 : Schéma de la filière de traitement des micropolluants dosage direct du CAP dans le traitement biologique 27
Figure 30 : Dimensionnement de la filière de traitement des micropolluants par CAP Dosage Direct 27
Figure 31 : Référence d'installation de traitement des micropolluants par procédé CAP dosage dans la biologie et filtration 29
Figure 32 : Schéma de la filière de traitement des micropolluants par CAP Dosage Direct et MBR 30
Figure 33 : Schéma de la filière de traitement des micropolluants par MicroCAG 31
Figure 34 : Dimensionnement de la filière de traitement des micropolluants par charbon actif micro grain 31

Figure 35 : Référence d'installation de traitement des micropolluants par procédé charbon actif en micro-grain 33
Figure 36 : Schéma de la filière de traitement des micropolluants par CAG 34
Figure 37 : Dimensionnement de la filière de traitement des micropolluants par charbon actif grain à flux descendant 34
Figure 38 : Schéma de la filière de traitement des micropolluants par CAG à flux ascendant 37
Figure 39 : Dimensionnement de la filière de traitement des micropolluants par charbon actif grain à flux ascendant 38
Figure 40 : Schéma de la filière de traitement des micropolluants combinée ozonation et CAP 44
Figure 41 : Dimensionnement de la filière de traitement des micropolluants par ozone + CAP 45
Figure 42 : Schéma de la filière de traitement des micropolluants combinée ozonation et CAG 47
Figure 43 : Dimensionnement de la filière de traitement des micropolluants par ozone + CAG 48
Figure 44 : Analyse multicritère des procédés de traitement des micropolluants 51
Figure 45 : Analyse comparative des technologies de traitement des microplastiques 54
Figure 46 : Solution 01 - filière traitement globale (Coagulation – Floculation et correction de pH et CAG) ...57
Figure 47 : Solution 02 - filière traitement globale (Pulsagreen, filtration et traitement des boues quaternaires) 58

Liste des annexes

Annexe A : Présentation STEP Dijon_Micropolluants_Données d'entrée et filières de traitement V5

CSDINGENIEURS
INGÉNIEUX PAR NATURE

1 Présentation et déroulement de l'étude de filières

1.1 Objectif principal

Odivea (Maitre d'ouvrage) est titulaire d'un Contrat de délégation de service public sur une partie du territoire de Dijon métropole, ayant pour objet le service public de l'eau et de l'assainissement.

Dans le cadre de ce Contrat, Odivea souhaite construire une unité de traitement complémentaire des micro-polluants, et des microplastiques, avant rejet au milieu naturel de la station d'épuration Eauvitale de Dijon.

L'objet de l'étude de filières **pour le projet de la construction d'une unité de traitement complémentaire des micropolluants et des microplastiques sur la STEP de Dijon** était d'identifier une ou des filières de traitement adaptées au contexte de la STEP d'Eauvitale et permettant une élimination :

- Des micropolluants (pesticides, substances médicamenteuses …)
- De métaux lourds
- Des microplastiques

1.2 Phasage

L'étude de filière s'est déroulée en deux phases :

- Phase 1 : Etude des différentes solutions techniques envisageables et analyse comparative de celles-ci
- Phase 2 : Etude approfondie de (ou des) filière(s) retenue(s)

1.3 Méthodologique de la Phase 1

La première phase de l'étude filières du traitement complémentaires des micropolluants et des microplastiques sur la STEP de Dijon est constituée par une analyse des données de base et à l'établissement des hypothèses pour le design de la filière de traitement. Elle a compris les étapes suivantes :

- Collecte des données d'entrée : concentrations en micropolluants, microplastiques, métaux lourds, performances de la STEP actuelle, objectif de performance avec le traitement quaternaire.
- Analyse des contraintes du site : contraintes existantes, emprise disponible, emplacements réservés, visite du site le 25.07.24
- Prise en compte des exigences d'ODIVEA concernant l'exploitation de l'unité quaternaire.

A partir de cette étape de prise en compte de ces éléments, nous avons étudié les différentes filières de traitement.

Nous avons réalisé un état des lieux élargi et exhaustif (à ce jour) des procédés de traitement envisageables et adaptés aux besoins de la STEP de Dijon.

Nous avons étudié et pré dimensionné les filières connues et mises en œuvre à l'échelle industrielle et à notre connaissance et à ce jour en Suisse, Allemagne, Suède et Pays Bas.

Nota : dans l'étude de filières du traitement complémentaires des micropolluants et des microplastiques sur la STEP de Dijon, nous avons écarté les filières de traitement des micropolluants mises en œuvre dans le traitement des eaux potables ou le traitement des eaux industrielles telle que les techniques de traitement membranaires Osmose Inverse Basse Pression, Nanofiltration basse Pression, Réacteurs Ultrafiltration combiné avec Charbon Actif en Poudre ou SPAC. Ces techniques sont mises en œuvre en fin de chaine de traitement d'eau potables ou industrielles et ne sont pas adaptables directement en traitement des micropolluants en eaux usées sur une eau clarifiée comme celle de la STEP de Dijon. Par ailleurs il est à noter qu'il n'existe pas de référence à l'échelle industrielle en traitement eaux usées des micropolluants mettent en œuvre ces techniques à ce jour.

- Pour la partie spécifique du traitement des micropolluants : 10 filières ont été étudiées, comprenant entre 1 et 4 variantes, ce qui correspond au total à un vingtaine de variantes étudiées
- Pour la partie spécifique du traitement des microplastiques : 4 filières ou technologies ont été étudiées.
- Pour la partie spécifique du traitement des métaux lourds : 6 filières ont été étudiées.

A partir de ces résultats nous avons réalisé une analyse comparative multicritères des différentes filières pour le traitement des micropolluants inventoriées sur la base de critères d'évaluation, spécifiés par ODIVEA, et des contraintes spécifiques du contexte de la STEP de Dijon. L'analyse comparative est présentée au chapitre 3.6.

1.4 Méthodologique de la Phase 2

A partir de cette première analyse effectuée en phase 1, deux filières de traitement global (micropolluants, métaux lourds et microplastiques) ont été retenues.

Les deux filières de traitement retenues ont été dimensionnées de façon plus détaillée.

Pour chaque filière, une estimation des coûts d'investissement avec une précision +/- 25 % sur la base de ratio et de retours d'expériences de projets équivalents et une estimation des coûts d'exploitation avec une précision +/- 25 % ont été réalisées.

A partir de ces derniers éléments, nous avons proposé une filière de traitement global (micropolluants, métaux lourds et microplastiques) à retenir pour la suite du projet.

2 Données de base (Phase 1)

2.1 Données mises à disposition par Odivea

Nous avons pris connaissance de l'ensemble des campagnes analytiques réalisées par Odivea depuis le début de leur contrat, des éléments règlementaires et des informations spécifiques au site.

L'ensemble de ces documents mis à disposition a été rassemblé sur le SharePoint suivant : STEP de DIJON - AMO Micropolluants - 0-Données d'entrée - Tous les documents (sharepoint.com) et est présenté sur l'image ci-dessous :

Arrêtés préfectoraux	AP Micropolluants
BASA	
Campagnes d'analyse	Exploitation analyses microplastiques, Micropolluants, métaux lourds, COD ; Synoptique du traitement existant
Charbon actif Eau potable	Données charbon actif existant eau potable
Conventions de rejet Industriels	
Données d'autosurveillance	Exploitation analyses MES, Azote, Phosphore, pH
Dossier des ouvrages exécutés	
Eléments de marché STEP	
Etudes antérieures	Etudes définition des débits et études traitements de micropolluants (données d'entrée, filières de traitement et objectifs de traitement)
Etudes géotechniques	G2PRO métha
Piézo	
Plans d'installation	Côte des ouvrages existants pour définition hauteur liquide disponible traitement des micropolluants ; Plan masse
RAD & RPQS	

Figure 1 : Données mises à disposition pour Odivea

2.2 Présentation de la Step de Dijon (Eau Vitale)

La filière de la file eau de la STEP de Dijon (Eau Vitale) comprend les étapes de traitement (File Eau) suivantes :

- Bassin d'orage
- Arrivée des effluents et comptage
- Prétraitements (dégrillage grossier, dégrillage fin, dessablage)
- Boues activées faible charge avec clarification (avec le procédé InDense)
- Comptage des effluents

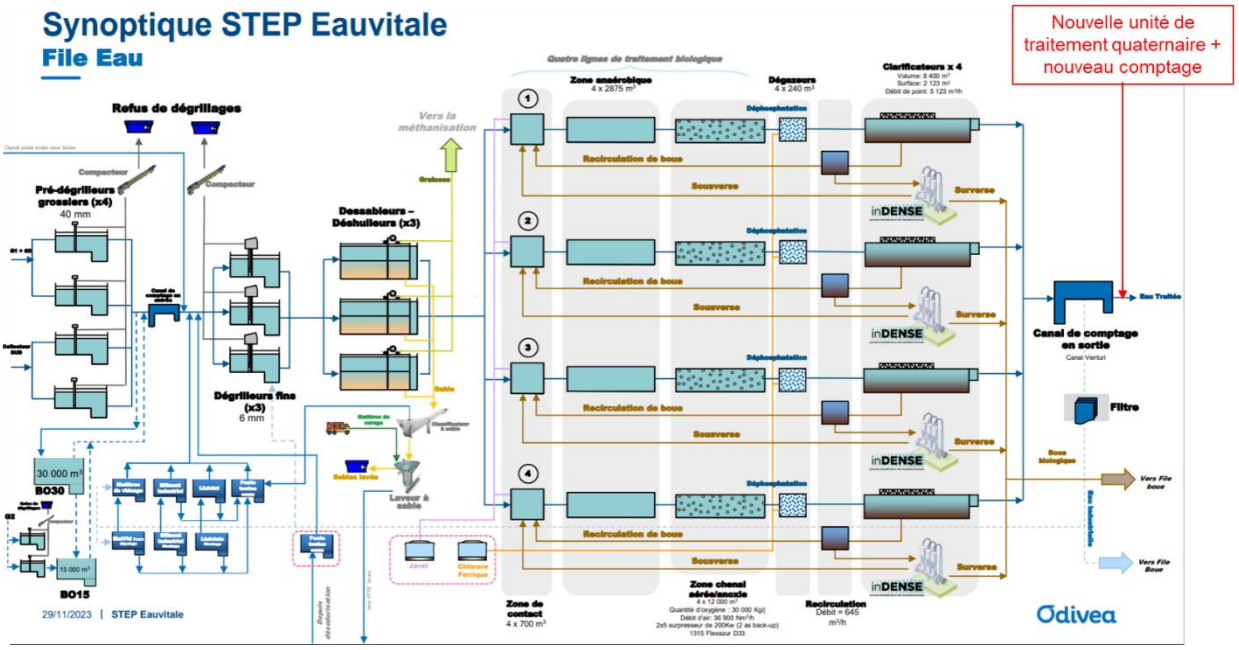


Figure 2 : Schéma procédé STEP Eau Vitale (file eau)

Sur le schéma ci-dessus nous avons indiqué dans la filière de traitement (**encadré rouge) où va s'inscrire le futur traitement des micropolluants, microplastiques et métaux lourds.**

2.3 Scénarios V1 et V2 conditions de traitement de la nouvelle installation de traitement des micropolluants et microplastiques

Dans le cadre de notre mission ODIVEA nous a informé que deux scénarii pour le débit à traiter, le type de micropolluants, les concentrations de micropolluants et les objectifs de traitement étaient à considérer.

Le scénario V1 correspond aux engagements du contrat d'ODIVEA avec Dijon métropole pris dans le cadre de son contrat de délégation de service public signé en 2019.

Les principales conditions du scénario V1 sont :

- Débit à traiter : correspond au débit tous temps confondus
- Micropolluants : traitement des micropolluants issus de la RSDE2, et de substances médicamenteuses
- Métaux lourds : pari sur la diminution des concentrations des métaux lourds à la source

A partir de la signature de son contrat de DSP, ODIVEA a réalisé de nombreuses analyses et des études (internalisées et confiées au prestataire SUEZ CONSULTING) afin d'ajuster au mieux ces conditions de traitement aux connaissances actuelles, aux retours d'expérience, à la faisabilité de réduction à la source (diagnostic amont RSDE), et à la future mise en place de la future révision de la Directive Eaux Résiduaires Urbaines -DERU.

A partir de ces éléments ODIVA a élaboré un **nouveau scénario V2,** les conditions du scénario sont les suivantes :

- Débit à traiter : abaissement au débit Temps Sec (suivant les prescriptions de la prochaine DERU)
- Micropolluants : ajout des polluants issus de la RSDE3 + adaptation des performances de traitement
- Métaux lourds : diminution des concentrations des métaux lourds à la source non réaliste

NOTA IMPORTANT : Il est à noter que le scénario V2 n'a pas été encore validé par Dijon Métropole.

2.4 Débits à considérer pour la nouvelle installation de traitement des micro-polluants et microplastiques

Les débits à considérer suivant les scénarios 01 (V1) et 02 (V2) sont présentés dans le tableau ci-dessous :

	Unité	V1	V2
Débit de dimensionnement		**Débit pointe tous temps confondus**	**Débit de pointe temps sec maintenu pendant 24h**
Débit horaire	m^3/h	5'200	3'000
Débit journalier maximum	m^3/j	113'700	72'000

Figure 3 : Tableau des bilans des débits à traiter pour la nouvelle installation de traitement des micropolluants et microplastiques

Nota concernant les débits moyens journaliers : les débits moyens journaliers sur les 5 dernières années issus de l'analyse statistique de Suez Consulting sont les suivants :

- V1 - Tout temps confondus, soit 50'269 m^3/j
- V2 - Temps sec (0 mm/j), soit 39'746 m^3/j

2.5 Concentrations de polluants à considérer

Les 4 familles de polluants ciblées en traitement quaternaire sont les suivantes :

- Paramètres usuels en affinage (MES, COD, P Tot, NGL) : abattement prévu un peu plus important que celui de la STEP seule pour répondre aux objectifs de la nouvelle DERU
- Micropolluants (résidus médicamenteux, herbicides, etc.)
- Métaux lourds (Zinc, Cuivre, Nickel)
- Microplastiques

2.5.1 Bilan des polluants en entrée du futur traitement quaternaire

Le tableau ci-dessous établit le bilan des concentrations en polluants en entrée du futur traitement quaternaire à prendre en compte avec commentaires :

Type	Substances	Nature	POLLUANTS EN ENTREE MAX	POLLUANTS EN ENTREE MOY	Commentaires
Paramètres physicochimiques usuels	COD		14 mg/l	10.4 mg/l	*Données CARSO*
	MES		39 mg/l	8.42 mg/l	
	NGL		35.87 mg(N)/l	6.37 mg(N)/l	
	NTK		29.5 mg(N)/l	2.56 mg(N)/l	
	Ptot		3.42 mg(P)/l	0.6 mg(P)/l	
	pH		9.5	7.91	
MICROPOLLUANTS Substances significatives RSDE2	Diflufenicanil	herbicide	0.59 µg/l	0.17 µg/l	
	Diuron	herbicide	0.17 µg/l	0.06 µg/l	
	Terbutryne	herbicide	0.18 µg/l	0.09 µg/l	
	4-tert-octylphénol	détergent	0.13 µg/l	0.1 µg/l	
MICROPOLLUANTS Substances significatives RSDE3	Aminotriazole	herbicide	0.22 µg/l	0.11 µg/l	
	Trichlorométhane	solvant (#chloroforme)	4.5 µg/l	1.21 µg/l	
	DEHP	phtalate de di-2-éthylexyle plastifiant pour matière plastique	1.78 µg/l	1.05 µg/l	
MICROPOLLUANTS Résidus médicamenteux	Carbamazépine	médicament antiépileptique	0.36 µg/l	0.15 µg/l	
	Clarithromycine	antibiotique	0.5 µg/l	0.41 µg/l	Conc. max donnée par ODIVEA le 25.07.24
	Diclofénac	anti-inflammatoire	1.01 µg/l	0.41 µg/l	
MICROPOLLUANTS P.F.O.S.	P.F.O.S.	acide perfluorooctanesulfonique	0.1 µg/l	0.06 µg/l	
METAUX LOURDS	Cuivre (métal total)		23 µg/l	6.84 µg/l	
	Nickel (métal total)		41 µg/l	6.11 µg/l	
	Zinc (métal total)		94 µg/l	52.08 µg/l	
MICROPLASTIQUES	Microplastiques		Confère slide suivante		
Autres substances sans objectifs de traitement	17 beta-estradiol	hormone	< 4 µg/l	< 4 µg/l	
	Ibuprofène	anti-inflammatoire	0.1 µg/l	0.1 µg/l	
	Somme des PFAS	composés perfluorés, polluants éte	0.209 µg/l	< 0.1 µg/l	
	Benzo (a) Pyrène	nyarocarbure aromatiques polycycliques (polluant de l'air)	0.01 µg/l	0.01 µg/l	
	Bisphenol a	composé organique (fabrication plastique et résine)	< 0.1 µg/l	< 0.1 µg/l	
	Imidaclopride	pesticide, insecticide	0.07 µg/l	0.07 µg/l	

→ Concentrations des paramètres physicochimiques : calculées entre janvier 2019 et mai 2024

→ Concentration en **micropolluants** reprises du rapport Phase 3 de Suez, tableau p.38, § 4.2 Hypothèses, cibles et contraintes.

→ Concentrations issues des RSDE (RSDE 2 en 2018 ; RSDE 3 en 2022 – 2023)

Cas lorsque concentration mesurée < à la limite de quantification : concentration retenue = concentration de la limite de quantification.

→ Concentrations des métaux lourds issues des RSDE et campagnes d'analyses métaux lourds entre janvier 2023 et janvier 2024

Figure 4 : Tableau des bilans des concentrations à traiter en entrée de la nouvelle installation de traitement quaternaire avec commentaires

Le tableau ci-dessous établit le bilan des concentrations en polluants en entrée du futur traitement quaternaire à prendre en compte sans commentaires :

Type	Substances	Nature	POLLUANTS EN ENTREE MAX	POLLUANTS EN ENTREE MOY	Commentaires
Paramètres physicochimiques usuels	COD		14 mg/l	10.4 mg/l	*Données CARSO*
	MES		39 mg/l	8.42 mg/l	
	NGL		35.87 mg(N)/l	6.37 mg(N)/l	
	NTK		29.5 mg(N)/l	2.56 mg(N)/l	
	Ptot		3.42 mg(P)/l	0.6 mg(P)/l	
	pH		9.5	7.91	
MICROPOLLUANTS Substances significatives RSDE2	Diflufenicanil	herbicide	0.59 µg/l	0.17 µg/l	
	Diuron	herbicide	0.17 µg/l	0.06 µg/l	
	Terbutryne	herbicide	0.18 µg/l	0.09 µg/l	
	4-tert-octylphénol	détergent	0.13 µg/l	0.1 µg/l	
MICROPOLLUANTS Substances significatives RSDE3	Aminotriazole	herbicide	0.22 µg/l	0.11 µg/l	
	Trichlorométhane	solvant (#chloroforme)	4.5 µg/l	1.21 µg/l	
	DEHP	phtalate de di-2-éthylexyle plastifiant pour matière plastique	1.78 µg/l	1.05 µg/l	
MICROPOLLUANTS Résidus médicamenteux	Carbamazépine	médicament antiépileptique	0.36 µg/l	0.15 µg/l	
	Clarithromycine	antibiotique	0.5 µg/l	0.41 µg/l	Conc. max donnée par ODIVEA le 25.07.24
	Diclofénac	anti-inflammatoire	1.01 µg/l	0.41 µg/l	
MICROPOLLUANTS P.F.O.S.	P.F.O.S.	acide perfluorooctanesulfonique	0.1 µg/l	0.06 µg/l	
METAUX LOURDS	Cuivre (métal total)		23 µg/l	6.84 µg/l	
	Nickel (métal total)		41 µg/l	6.11 µg/l	
	Zinc (métal total)		94 µg/l	52.08 µg/l	
MICROPLASTIQUES	Microplastiques		Confère slide suivante		
Autres substances sans objectifs de traitement	17 beta-estradiol	hormone	< 4 µg/l	< 4 µg/l	
	Ibuprofène	anti-inflammatoire	0.1 µg/l	0.1 µg/l	
	Somme des PFAS	composés perfluorés, polluants éte	0.209 µg/l	< 0.1 µg/l	
	Benzo (a) Pyrène	nyarocarbure aromatiques polycycliques (polluant de l'air)	0.01 µg/l	0.01 µg/l	
	Bisphenol a	composé organique (fabrication plastique et résine)	< 0.1 µg/l	< 0.1 µg/l	
	Imidaclopride	pesticide, insecticide	0.07 µg/l	0.07 µg/l	
	Cobalt		4 µg/l	3.17 µg/l	

Figure 5 : Tableau des bilans des concentrations à traiter en entrée de la nouvelle installation de traitement quaternaire sans commentaires

Les concentrations en polluants en sortie de traitement de la file eau (sortie clarificateur file eau traitée) sont identiques pour les deux scénarios V1 et V2.

2.5.2 Métaux lourds dans les eaux brutes et en entrée du futur traitement quaternaire

Formes des métaux lourds :

Le tableau ci-dessous présente les concentrations en métaux lourds dans les eaux brutes et les eaux traitées de la Step Eauvitale (Dijon).

Eaux brutes STEP Eauvitale (2023)					
Cuivre particulaire	**Nickel particulaire**	**Zinc particulaire**	Cuivre dissous	Nickel dissous	Zinc dissous
76%	**58%**	**89%**	nd *	nd *	11%
Eaux traitées STEP Eauvitale (2023)					
Cuivre particulaire	Nickel particulaire	Zinc particulaire	**Cuivre dissous**	**Nickel dissous**	**Zinc dissous**
41%	22%	12%	nd *	nd *	**88%**

** non calculé car valeurs < LQ*

Source : Tableau 6 du rapport Phase 3 23NBL054_Micropol_Odivea_Phase3_V4def

	Eau brute			Eau traitée		
	% Cu dissous	% Ni dissous	% Zn dissous	% Cu dissous	% Ni dissous	% Zn dissous
	%	%	%	%	%	%
MIN	24%	nd	11%	56%	83%	63%
MOY	24%	nd	11%	91%	97%	88%
MAX	24%	nd	11%	100%	100%	100%

Source : Campagne Analyses métaux Br NDMA 254 nm et autres, entre 2022 et 2024

Figure 6 : Tableau des concentrations en métaux lourds dans les eaux brutes et les eaux traitées de la Step EauVitale (Dijon).

Il est constaté que dans les eaux brutes (entrée STEP) les métaux sont principalement sous forme particulaire.

A l'inverse, dans les eaux traitées (sortie clarificateurs et entrée du futur traitement quaternaire) les métaux sont principalement sous forme dissoute.

Abattement de la STEP actuelle sur les métaux lourds :

Les abattements de la STEP actuelle sur les métaux sont repris dans les tableaux ci-après (analyse des données issues des campagnes RSDE2, RSDE3 et du fichier *Analyse métaux Br NDMA 254 nm*).

		Abattement RSDE3 (sur les flux)							Abattement RSDE2 (sur les flux)						
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	Moyenne	C1	C2	C3	C4	C5	C6	Moyenne
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
METAUX LOURDS	Cuivre (métal total)	97.4%	96.3%	89.8%	90.1%	92.9%	96.2%	93.8%	75.5%	83.8%	95.4%	98.0%	92.6%	81.1%	87.7%
	Nickel (métal total)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-403.3%	nd	nd	-403.3%
	Zinc (métal total)	73.7%	69.7%	81.0%	33.9%	64.3%	69.9%	65.4%	-6.7%	70.2%	78.3%	85.7%	71.1%	68.5%	61.2%

Rendements issus de la campagne Analyses métaux Br NDMA 254nm et autres

Station / Réseau	eauvitale	eauvitale	eauvitale
Pt prélevt	Abattement	Abattement	Abattement
Paramètre	Cuivre	Nickel	Zinc
Laboratoire	Calcul	Calcul	Calcul
Unité	%	%	%
MIN	86%	45%	43%
MOYENNE	92%	54%	73%
MAX	96%	63%	88%
NBVALEUR	13	2	21

Figure 7 : Tableau des abattements en métaux lourds par la Step Eauvitale (Dijon) existante.

Les abattements sont bons sur le Cuivre et Zinc. Par contre l'abattement est plus faible sur le Nickel (très peu de données sur les RSDE 2 et aucune sur les RSDE3).

Nota : La valeur de 54% d'abattement du Nickel en moyenne est calculée sur les seules abattements calculables, soit en l'occurrence dans notre cas, 2 calculs d'abattement possibles. En effet, la majorité du temps, le Nickel n'est pas mesuré soit en entrée de la STEP de Dijon, soit en sortie de la STEP de Dijon, soit les 2.

2.5.3 Abattements des microplastiques par la station d'épuration actuelle

Les abattements par la STEP actuelle sur le paramètre microplastique sont très bons :

- > 99.5 % par temps sec
- 94.7 % par temps de pluie
- 90.5 % lorsque 3 files sur 4 étaient fonctionnelles.

Les analyses concernant les microplastiques sont présentées en annexe A.

2.6 Objectifs de traitements de la nouvelle installation de traitement quaternaire

Les objectifs de traitement pour le nouveau traitement quaternaire concernant :

- Les paramètres physicochimiques
- Les paramètres micropolluants
- Les métaux lourds
- Les microplastiques

sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Type	Substances	POLLUANTS EN SORTIE V1	POLLUANTS EN SORTIE V2	Commentaire
Paramètres physicochimiques usuels	COD			
	MES			
	NGL		8 mg/l et/ou 80%	Nouvelle DERU (publication 1er mars 2024)
	NTK			
	Ptot		0.5 mg/l et/ou 90%	Nouvelle DERU (publication 1er mars 2024)
	pH			
MICROPOLLUANTS Substances significatives RSDE2	Diflufenicanil	0.05 µg/l	0.05 µg/l	Non significatif en RSDE 3 en sortie
	Diuron	0.05 µg/l	0.2 µg/l	
	Terbutryne	0.1 µg/l	0.3 µg/l	Non significatif en RSDE 3 en sortie
	4-tert-octylphénol	0.1 µg/l	0.6 µg/l	Non significatif en RSDE 3 en sortie
MICROPOLLUANTS Substances significatives RSDE3	Aminotriazole	-	0.3 µg/l	Significatif en RSDE 3 en sortie
	Trichlorométhane	-	1.5 µg/l (objectif secondaire)	Significatif en RSDE 3 en sortie mais pas de connaissance sur technique de traitement
	DEHP (phtalate de di-2-éthylexyle)	-	4 µg/l	Significatif en RSDE 3 en sortie
MICROPOLLUANTS Résidus médicamenteux	Résidus médicamenteux	80 % (taux moy - écht. 48h) Liste de 11 substances dont 3 de la future DERU	X	
MICROPOLLUANTS Liste des 12 substances DERU = Liste Suisse	Substances catégorie 1 (très facilement éliminables)	-	80% en moyenne sur 6 substances	
	Amisulpride			
	Carbamazépine			
	Citalopram			
	Clarithromycine			
	Diclofénac			
	Hydrochorothiazide			
	Métoprolol			
	Venlafaxine			
	Substances catégorie 2 (facilement é			
	Benzotriazole			
	Candésartan			
	Irbésartan			
	Mélange de 4-Méthylbenzotriazole et 5-Méthylbenzotriazole			
MICROPOLLUANTS P.F.O.S.	P.F.O.S.	0.05 µg/l	0.05 µg/l	Non significatif en RSDE 3
METAUX LOURDS	Cuivre (métal total)	85 % et 5 µg/l	85 % ou 7.5 µg/l	
	Nickel (métal total)	5 µg/l	6 µg/l	Non significatif en RSDE 3 en sortie
	Zinc (métal total)	**72 % et 5 µg/l**	**72 % ou 40 µg/l**	
MICROPLASTIQUES	Microplastiques	95%	95%	
Autres substances sans objectifs de traitement	17 beta-estradiol	-	-	Pas d'objectif si substances déjà en dessous des objectifs milieu récepteur, pour lesquelles peu de connaissance en termes d'impact sur le milieu et/ou de traitement possible, et non ciblées par la future DERU.
	Ibuprofène	-	-	
	Somme des PFAS	-	-	
	Benzo (a) Pyrène	-	-	
	Bisphenol a	-	-	
	Imidaclopride	-	-	
	Cobalt	-	-	

Figure 8 : Tableau des objectifs de traitement.

Légende du tableau : En rouge sont présentés les écarts entre les objectifs de traitement du scénario V1 et les objectifs du scénario V2.

Nous avons ajouté dans le tableau les objectifs de traitement de la nouvelle DERU sur l'azote global et le phosphore total.

Les abattements sur les micropolluants à demander, à l'entreprise qui aura la charge de la réalisation des installations de traitement quaternaire, seront **entre l'entrée et la sortie du nouveau traitement quaternaire**.

Les abattements sur les métaux lourds et microplastiques à demander, à l'entreprise qui aura la charge de la réalisation des installations de traitement quaternaire**, seront entre l'entrée et la sortie du nouveau traitement quaternaire (mais avec prise en compte de l'abattement actuel du traitement existant STEP seule).**

2.7 Contraintes spatiales et hydrauliques

2.7.1 Implantation de la future installation de traitement des micropolluants et microplastiques

La nouvelle installation de traitement quaternaire sera localisée sur le site de l'ancienne Step II de Dijon. Cette partie de la Step actuelle est actuellement libre de constructions.

La vue ci-dessous présente la surface disponible pour la nouvelle installation de traitement quaternaire.



Figure 9 : Présentation de la surface disponible pour la nouvelle installation de traitement des micropolluants et microplastiques

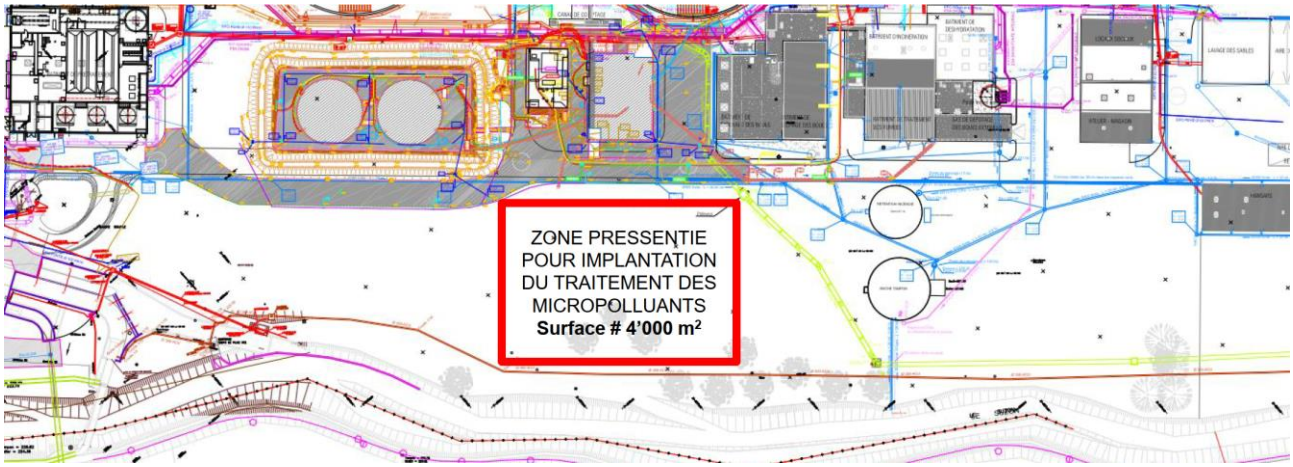


Figure 10 : Présentation de la surface disponible pour la nouvelle installation de traitement des micropolluants et microplastiques

Au vu des éléments présentés ci-dessus il apparait que la surface disponible est suffisante pour la nouvelle installation de traitement quaternaire quel que soit le type de filière envisagée.

2.7.2 Calage hydraulique de la nouvelle installation de traitement des micropolluants et microplastiques

La nouvelle installation des micropolluants et microplastiques sera calée hydrauliquement entre la sortie des clarificateurs de la file eau existante et le rejet dans le Suzon. Le Niveau Liquide en sortie des clarificateurs (amont canal venturi) est de 226.10 m NGF et le Niveau Liquide en aval canal venturi de rejet est de **224,68 m NGF.**

Le niveau liquide (Côte niveau de crue) Suzon au droit du rejet est de 223.75 m NGF et le la côte dernier regard relevé avant rejet dans le Suzon est de (Fe) 221.64 m NGF.

En conclusion **la hauteur hydraulique ou charge hydraulique disponible** pour la nouvelle installation des micropolluants et microplastiques est de **0.93 m** (niveau canal venturi 224.68 – niveau rejet en crue 223.75).

*NOTA : une option sera de caler les ouvrages en amont du venturi ou à la sortie des clarificateurs et **la hauteur hydraulique ou charge hydraulique disponible** pour la nouvelle installation des micropolluants et microplastiques serait de **2,35 m** (niveau sortie clarificateur 226.10 – niveau rejet en crue 223.75).*

3 Filières de traitement (Phase 1)

3.1 Introduction

La nouvelle installation de traitement quaternaire devra traiter les quatre familles de paramètres suivants :

- Macro-polluants (en affinage)
- Micropolluants
- Métaux lourds
- Microplastiques

Dans la définition de la filière de traitement global, nous avons déterminé en premier lieu les besoins pour le relevage des effluents et la protection du traitement quaternaire (hypothèse d'une reprise des effluents en aval du canal venturi).

Ensuite, nous avons étudié les filières de traitement individuelles pour le traitement des micropolluants, les filières de traitement pour le traitement des métaux lourds et les filières de traitement des microplastiques.

A partir de ces éléments, nous avons combiné chaque filière individuelle pour élaborer une filière de traitement globale.

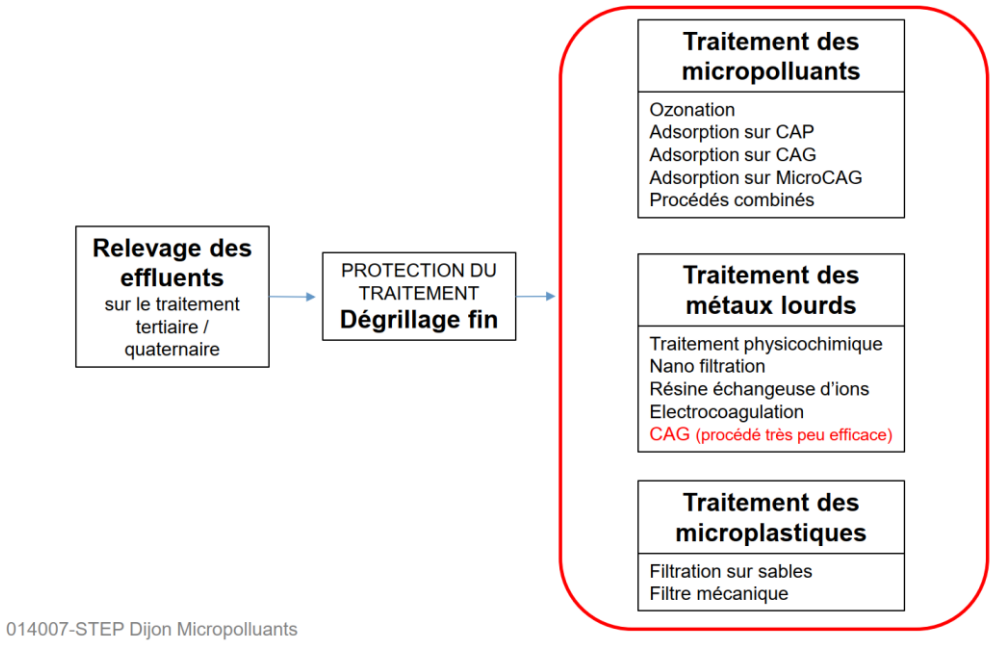


Figure 11 : Schéma des filières globales possibles pour l'installation du traitement des micropolluants et microplastiques

3.2 Relevage des effluents à traiter

Suivant le calage hydraulique des ouvrages de traitement quaternaire, il sera peut-être nécessaire de mettre un relevage des effluents avant les nouvelles étapes de traitement.

La courbe ci-dessous présente l'évolution du débit journalier en sortie de la Step Eau Vitale (profil journalier STEP Dijon entre 2016 et 2023).

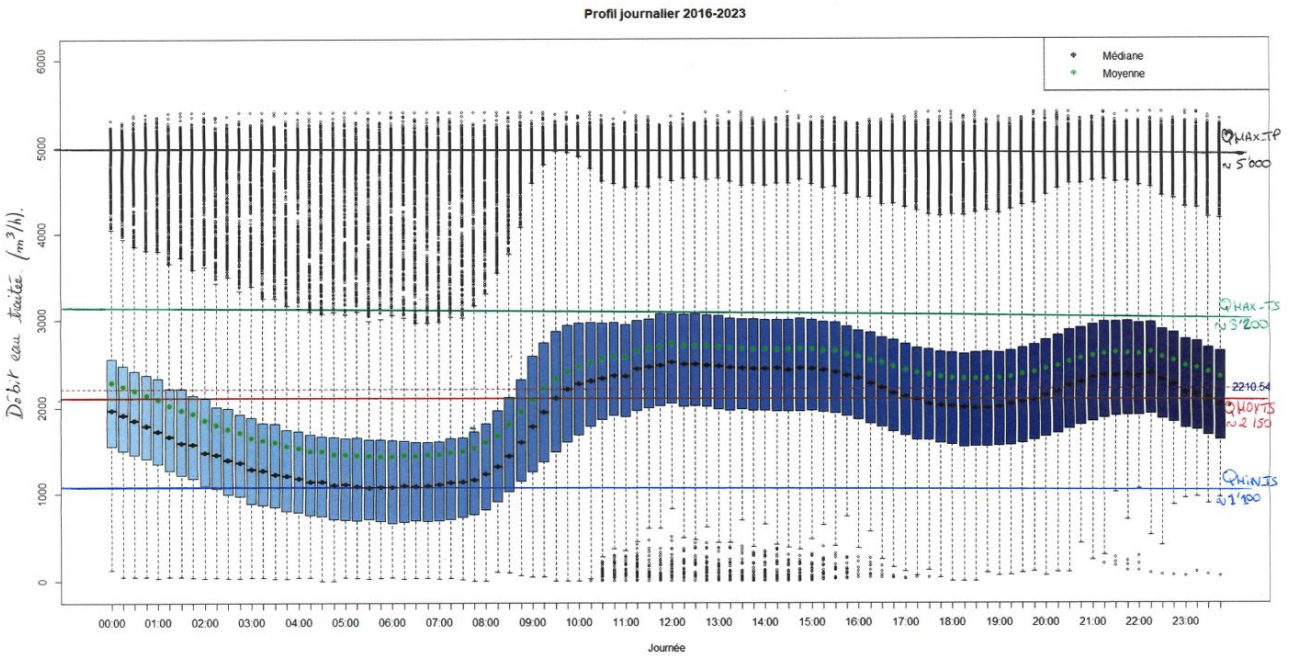


Figure 12 : Profil journalier du débit de la sortie station d'épuration Eauvitale

Les débits à considérer pour le relevage des effluents sont les suivants :

- Q min TS médian : env. 1'100 m^3/h
- Q moy TS : env. 2'150 m^3/h
- Q max TS : env. 3'200 m^3/h
- Q max TP : env. 5'000 m^3/h

Il sera nécessaire de prévoir une capacité de pompage d'au minimum 2 pompes en service + 1 pompe secours pour permettre de couvrir l'ensemble de la gamme des débits à traiter.

3.3 Dégrillage des effluents à traiter

Une étape de dégrillage fin est préconisée à l'amont du traitement quaternaire afin d'éliminer algues et autres macro-particules issues des clarificateurs (décanteurs secondaires circulaires).

Le dimensionnement du dégrillage fin en amont du traitement des micropolluants est le suivant :

- Nombre de dégrilleurs :
  - 1 seul + bypass (solution 1)
  - 1 à 50% du débit + 1 à 50% du débit (solution 2)
- Type : Dégrilleur droit à raclage continu
- Débit : 3'000 m^3/h
- Maille : 2 mm

Pour la reprise des déchets il ne sera pas nécessaire de mettre en place une vis compacteuse pour le traitement des déchets (assez peu de déchets devraient être retenus). Ces derniers seront directement stockés dans une benne.

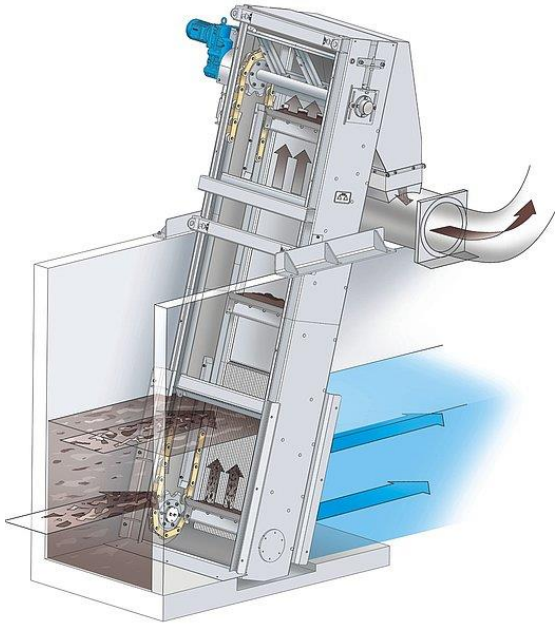


Figure 13 : Vue schématique d'un dégrilleur fin

3.4 Traitement des micropolluants : introduction

Pour le traitement des micropolluants, nous avons envisagé les filières de traitement des micropolluants en eaux usées mises en œuvre actuellement :

- Technologies avec mise en œuvre du Charbon Actif :
  - Charbon Actif en Poudre (CAP)
  - Charbon Actif en Grain (CAG)
  - Charbon Actif en Micro-Grain (micro CAG)
- Technologies avec mise en œuvre de l'Ozonation
- Technologies avec mise en œuvre de procédés combinés (Ozonation + Charbon Actif)

Ces technologies de traitement des micropolluants ont été mises en œuvre actuellement à l'échelle industrielle en Allemagne et en Suisse.

De façon résumé, les deux principaux procédés actuellement disponibles pour le traitement des micropolluants dans les eaux usées municipales **sont l'ozonation et l'adsorption sur charbon actif** (en poudre, en micro-grains ou en grains). Ces deux technologies sont efficaces pour le traitement des micropolluants, avec une efficacité moyenne similaire pour l'abattement d'une large gamme de micropolluants. L'ozonation s'avère être plus efficace pour éliminer complétement certains types de polluants alors que le charbon actif agit sur un plus grand nombre de composés mais avec une efficacité en général un peu plus faible. Le choix de l'un ou l'autre des procédés dépend donc essentiellement des coûts d'investissement et d'exploitation, des contraintes de sécurité, du type d'eau à traiter ou des objectifs secondaires recherchés (désinfection, réduction du COD, élimination physique au lieu d'une transformation, etc.).

Les procédés par **adsorption sur charbon actif** permettent une élimination physique des micropolluants étant donné que ces derniers se retrouvent piégés dans la porosité du charbon. Le charbon est ensuite retenu et incinéré dans le cas de la poudre ou régénéré dans les cas du micro-grain et du grain. Les procédés par **ozonation** sont quant à eux une transformation chimique des micropolluants en sous-produits généralement moins toxiques. Un post-traitement (p.ex. filtres à sable) est nécessaire pour éliminer une partie des sous-produits d'oxydation.

NOTA : Il est à noter que seulement les Charbons Actif en Grain et en Micro Grain sont régénérables contrai rement au Charbon Actif en Poudre.

Nous avons étudié les filières suivantes :

- **Procédé 01** : Procédé Ulmer Charbon Actif en Poudre + Décantation classique (ou décantation lamellaire) + Filtre à sables (ou Filtres à disques/peluches)
- **Procédé 01 bis :** Procédé Ulmer Charbon Actif en Poudre + Décantation classique (ou décantation lamellaire) + Filtre à sables (ou Filtres à disques/peluches) avec filière de traitement des boues pour les boues issues du traitement des micropolluants
- **Procédé 02 :** Charbon Actif en Poudre et Décantation lamellaire avec lit de boues (Pulsagreen) + Filtre à sables (ou Filtres à disques/peluches)
- **Procédé 02 bis :** Charbon Actif en Poudre et Décantation lamellaire avec lit de boues (Pulsagreen) + Filtre à sables (ou Filtres à disques/peluches) avec filière de traitement des boues pour les boues issues du traitement des micropolluants
- **Procédé 03 :** Charbon Actif en Poudre + Filtre à sables (AktiFilt)
- **Procédé 03 bis :** Charbon Actif en Poudre + Filtre à sables (AktiFilt) avec filière de traitement des boues pour les boues issues du traitement des micropolluants
- **Procédé 04** : Charbon Actif en Poudre dosé directement dans le traitement biologique (boues activées) + Filtre à sables
- **Procédé 05** : Charbon Actif en Poudre dosé directement dans le traitement biologique membranaire (MBR)
- **Procédé 06** : Charbon Actif en Micro-Grain
- **Procédé 07 :** Charbon Actif en Grain à flux descendant
- **Procédé 07 bis :** Charbon Actif en Grain à flux ascendant
- **Procédé 08** : Ozonation + Filtre à sables
- **Procédé 09** : Procédés combinés : Ozonation + Charbon Actif en Poudre + Filtres à sables
- **Procédé 10** : Procédés combinés : Ozonation + Charbon Actif en Grain

Nous avons analysé ces procédés suivant les critères d'évaluation proposés par Odivea.

Critère 1 – Robustesse du procédé et simplicité d'exploitation :

Pour ce critère nous avons analysé si ce procédé était mis en œuvre avec succès depuis plusieurs années dans les pays ayant déjà de nombreuses installations de traitement des micropolluants (Suisse et Allemagne (Bade Wurtemberg et Nordrhein-Westfalen et Bayern). Nous avons pris en compte le fait que le procédé pouvait s'adapter aux variations saisonnières et de débit.

Critère 2 – Retour du CAP dans les boues biologiques :

Pour ce critère nous avons pris en compte si le retour du Charbon Actif en Poudre (avec les boues ou eaux sales) dans la filière de traitement biologique était nécessaire. En effet l'inconvénient avec filière de compostage actuelle des boues de la STEP de Dijon est que le risque de pollution des boues de la STEP évacuées avec du CAP chargé en micropolluants ou métaux En effet, bien que la co-incinération en UVE soit la filière d'élimination des boues projetée pour la STEP d'Odivea, la compatibilité des boues avec filière de secours réglementaire, le compostage pour la STEP d'Odivea, doit tout de même être assurée.

Critère 3 – Adéquation du procédé avec l'effluent :

Pour ce critère nous avons pris en compte si les caractéristiques de l'effluent en entrée STEP et sortie clarification étaient compatibles avec le procédé envisagé.

Critères 4 et 5 : Couts (CAPEX et OPEX) :

Pour ce critère nous avons évalué les couts d'investissement ou CAPEX et les couts d'exploitation OPEX.

Critère 6 : Appel d'offres attractif et ouverture fournisseurs :

Pour ce critère nous avons analysé si le procédé était breveté, si le son dimensionnement était disponible dans le domaine public et si un nombre important de fournisseurs est capable de répondre (Degrémont, OTV, Sources, Stereau, Techfina, Sogea, Wabag).

3.5 Traitement des micropolluants : filières de traitement

3.5.1 Traitement par charbon actif (général)

Le Charbon actif peut être mis en œuvre pour le traitement des micropolluants sous différentes formes :

- En poudre ou Charbon Actif en Poudre (CAP)
- En micro-grain ou Charbon Actif Micro-G
- En grain ou Charbon Actif en Grain (CAG)

La figure ci-dessous présente les caractéristiques des différents types de Charbon actif.





	CAP (0,01 – 0,025 mm)	CAµG (0,5 – 0,8 mm)	CAG (0,8 – 1,2 mm)
Adsorption pesticides	++ à +++	++ à +++	+ à +++
Adaptation à la pollution/dosage	Oui	Oui	Non
Réactifs chimiques	Oui	Non	Non
Production de boues de charbon	Oui	Non	Non
Charbon régénérable	Non	Oui	Oui

Figure 14 : Présentation des différents types de Charbon Actif

3.5.2 Traitement par charbon actif en poudre (CAP) + sédimentation + filtration sur sable **Procédé 01 et 01 bis**

A- Principe

Ce procédé, aussi appelé procédé d'Ulm ou Ulmer, est robuste et profite d'un grand retour d'expérience notamment en Allemagne. Il est cependant très extensif et peu économique au niveau de l'investissement et de l'exploitation.

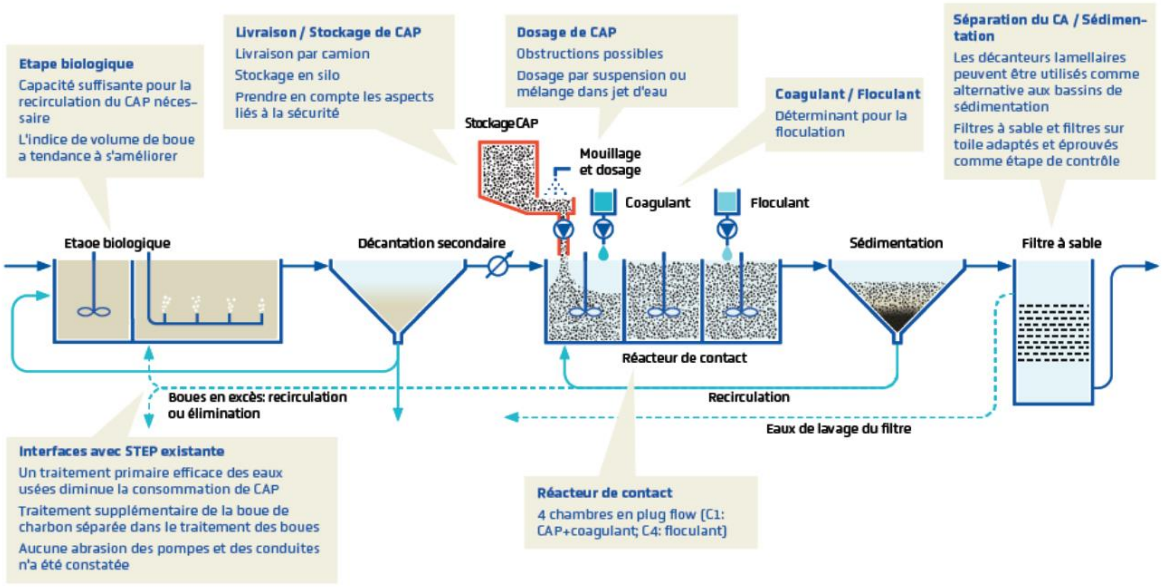


Figure 15 : Vue schématique d'un traitement des micropolluants par charbon actif en poudre (CAP) + sédimentation + filtration sur sable

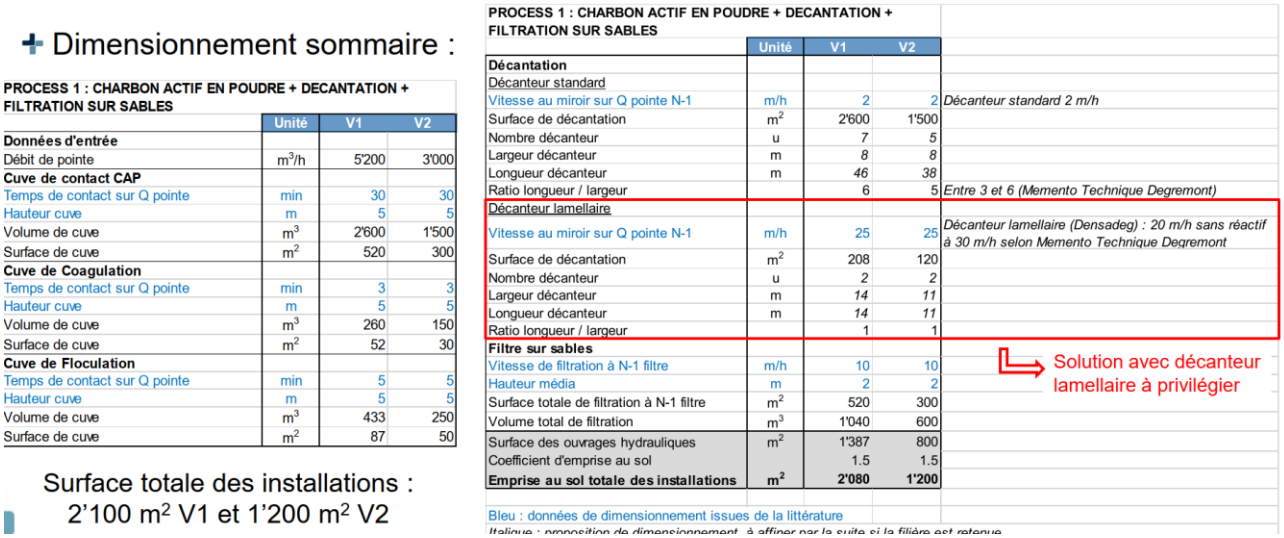
B- Fonctionnement

Le Charbon Actif Poudre est dosé dans un réacteur de contact mélangé afin de permettre l'adsorption des micropolluants. Un coagulant et un floculant sont ajoutés afin de faciliter l'agrégation du CAP en petits flocs. Les flocs de CAP chargés en micropolluants sont ensuite retenus dans un décanteur.

Les boues sont ensuite recirculées dans le réacteur de contact afin de maximiser la capacité d'adsorption du CAP. Afin de minimiser les pertes en CAP, une filtration sur sable ou à disques/peluches est nécessaire. Lors du rétro lavage du filtre, le CAP usagé est retourné dans la biologie pour finir de le saturer, puis il est éliminé avec les boues biologiques.

C- Dimensionnement de la filière charbon actif en poudre (CAP) + sédimentation + filtration sur sable

Le tableau ci-dessous présente le dimensionnement de la cuve de contact CAP, de la cuve de coagulation, de la cuve de floculation, de la décantation classique ou lamellaire et de la filtration à sables.



✚ Dimensionnement sommaire :

PROCESS 1 : CHARBON ACTIF EN POUDRE + DECANTATION + FILTRATION SUR SABLES

	Unité	V1	V2
Données d'entrée			
Débit de pointe	m^3/h	5'200	3'000
Cuve de contact CAP			
Temps de contact sur Q pointe	min	30	30
Hauteur cuve	m	5	5
Volume de cuve	m^3	2'600	1'500
Surface de cuve	m^2	520	300
Cuve de Coagulation			
Temps de contact sur Q pointe	min	3	3
Hauteur cuve	m	5	5
Volume de cuve	m^3	260	150
Surface de cuve	m^2	52	30
Cuve de Floculation			
Temps de contact sur Q pointe	min	5	5
Hauteur cuve	m	5	5
Volume de cuve	m^3	433	250
Surface de cuve	m^2	87	50

Surface totale des installations :
2'100 m^2 V1 et 1'200 m^2 V2

PROCESS 1 : CHARBON ACTIF EN POUDRE + DECANTATION + FILTRATION SUR SABLES

	Unité	V1	V2	
Décantation				
Décanteur standard				
Vitesse au miroir sur Q pointe N-1	m/h	2	2	*Décanteur standard 2 m/h*
Surface de décantation	m^2	2'600	1'500	
Nombre décanteur	u	7	5	
Largeur décanteur	m	8	8	
Longueur décanteur	m	46	38	
Ratio longueur / largeur		6	5	*Entre 3 et 6 (Memento Technique Degremont)*
Décanteur lamellaire				
Vitesse au miroir sur Q pointe N-1	m/h	25	25	*Décanteur lamellaire (Densadeg) : 20 m/h sans réactif à 30 m/h selon Memento Technique Degremont*
Surface de décantation	m^2	208	120	
Nombre décanteur	u	2	2	
Largeur décanteur	m	14	11	
Longueur décanteur	m	14	11	
Ratio longueur / largeur		1	1	
Filtre sur sables				
Vitesse de filtration à N-1 filtre	m/h	10	10	
Hauteur média	m	2	2	
Surface totale de filtration à N-1 filtre	m^2	520	300	
Volume total de filtration	m^3	1'040	600	
Surface des ouvrages hydrauliques	m^2	1'387	800	
Coefficient d'emprise au sol		1.5	1.5	
Emprise au sol totale des installations	m^2	**2'080**	**1'200**	

Solution avec décanteur lamellaire à privilégier

Bleu : données de dimensionnement issues de la littérature

Italique : proposition de dimensionnement, à affiner par la suite si la filière est retenue

Figure 16 : Tableau de dimensionnement de la filière charbon actif en poudre (CAP) + sédimentation + filtration sur sable

NOTA IMPORTANT : nous avons intégré dans cette filière de traitement **une filtration en aval** de la décantation afin de limiter les fuites de fines de Charbon actif en Poudre en sortie de décantation.

Pour la détermination de la surface nécessaire, nous avons privilégié la solution avec une décantation lamellaire qui est plus compacte. L'emprise nécessaire est de 2'100 m^2 pour la V1 (débit à traiter de 5'200 m^3/h) et de 1'200 m^2 pour la V2 (débit à traiter de 3'000 m^3/h), ce qui est compatible avec la surface disponible.

D- Analyse de la mise en œuvre de procédé sur la Step EauVitale de Dijon

Nous avons analysé la mise en œuvre de ce procédé suivant les critères d'évaluation proposés par Odivea.

Critère 1 – Robustesse du procédé et simplicité d'exploitation :

- Procédé robuste et profite d'un grand retour d'expérience notamment en Allemagne et en Suisse.

Critère 2 – Retour du CAP dans les boues biologiques :

- Production un peu plus importante de boues avec CAP. Inconvénient avec filière de compostage compte tenu du risque de pollution des boues évacuées de la STEP. En effet, bien que la co-incinération en UVE soit la filière d'élimination des boues projetée pour la STEP d'Odivea, la compatibilité des boues avec filière de secours réglementaire, le compostage pour la STEP d'Odivea, doit tout de même être assurée.

Critère 3 – Adéquation du procédé avec l'effluent :

- Procédé adéquat avec les effluents de la STEP d'ODIVEA

Critères 4 et 5 : Couts (CAPEX et OPEX) :

- Procédé très extensif et peu économique au niveau de l'investissement et de l'exploitation.

Critère 6 : Appel d'offres attractif et ouverture fournisseurs :

- Procédé non breveté. Dimensionnement dans le domaine public.
- Un grand nombre de fournisseurs est capable de répondre : Degrémont, OTV, Sources, Stereau, Techfina, Sogea, Wabag

E- Références

Ce procédé a été mis en œuvre pour le traitement des micropolluants sur de nombreuses stations d'épuration en Suisse et en Allemagne depuis environ 15 ans.

Références :

- STEP d'Oberglatt – Mise en service 2021
- STEP de Fehraltorf – Mise en service 2023

Une référence spécifique est présentée ci-dessous :

Références :

- **STEP de Bachwis, Herisau – Mise en service 2016, Capacité MP 612 m³/h**





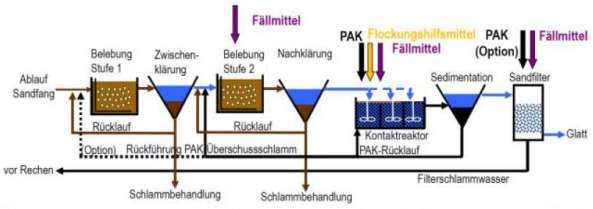


Abbildung 1: Fliessschema PAK-Dosierung mit PAK-Rezirkulation und Rückführung PAK-Überschussschlamm in Biologie 2. Stufe

Dimensionierungsgrundlagen und Technologien

Parameter	Einheit	Wert
max. Zulauf PAK-Anlage	l/s	170
min. Kontaktzeit PAK-Reaktor	min	30
min. Aufenthaltszeit PAK-Sedimentation	h	2
max. Oberflächenbeschickung PAK-Sedi.	m/h	2
Max. Filtergeschwindigkeit	m/h	15.5 (bei 310l/s)
Verweilzeit Abwasser in Filter	min	4
Dosierung PAK	mgPAK/l	10-17
Dosierung $FeCl(SO_4)$	mgFe/l	3
Rückführung PAK-Überschussschlamm		Biologie 2. Stufe (optional Biologie 1. Stufe)
PAK-Typ		Carbopal AP (Donau Carbon)
Max. Zulauf Filter	l/s	310

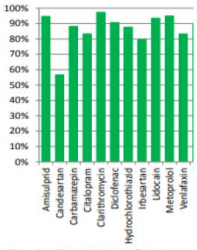


Abb. 3: Abbauleistung Rohabwasser – Ablauf ARA, eine 72h-Probe Spurenstoffmessung August 2015

Figure 17 : Référence d'installation de traitement des micropolluants par CAP Ulmer

F- Mutualisation du procédé de traitement des micropolluants avec le traitement des microplastiques et des métaux lourds

Nous avons également analysé la mutualisation de ce procédé avec les objectifs de traitement des autres polluants envisagés sur la STEP Odivea.
Le procédé CAP + décantation + Filtres à sables peut s'avérer intéressant pour l'élimination des métaux lourds (en parallèle : le procédé traiterait, en même temps et dans un même ouvrage, les micropolluants et les métaux lourds) et ce procédé est également efficace pour l'élimination des microplastiques (filtre à sables).

G- Conclusion

Ce procédé n'est pas envisageable pour la STEP de Dijon ODIVEA du fait de la production de boues issues du traitement des micropolluants avec Charbon Actif en Poudre retournées en filière biologique. **Les boues biologiques (avec celles du traitement quaternaire) ne peuvent pas être ensuite mise en œuvre en valorisation agricole ou en filière de compostage.**

NOTA IMPORTANT Un traitement spécifique des boues chargées en CAP devrait être mis en œuvre afin de ne pas transférer les micropolluants dans les boues biologiques (cf. **Process 1 bis** ci-après).

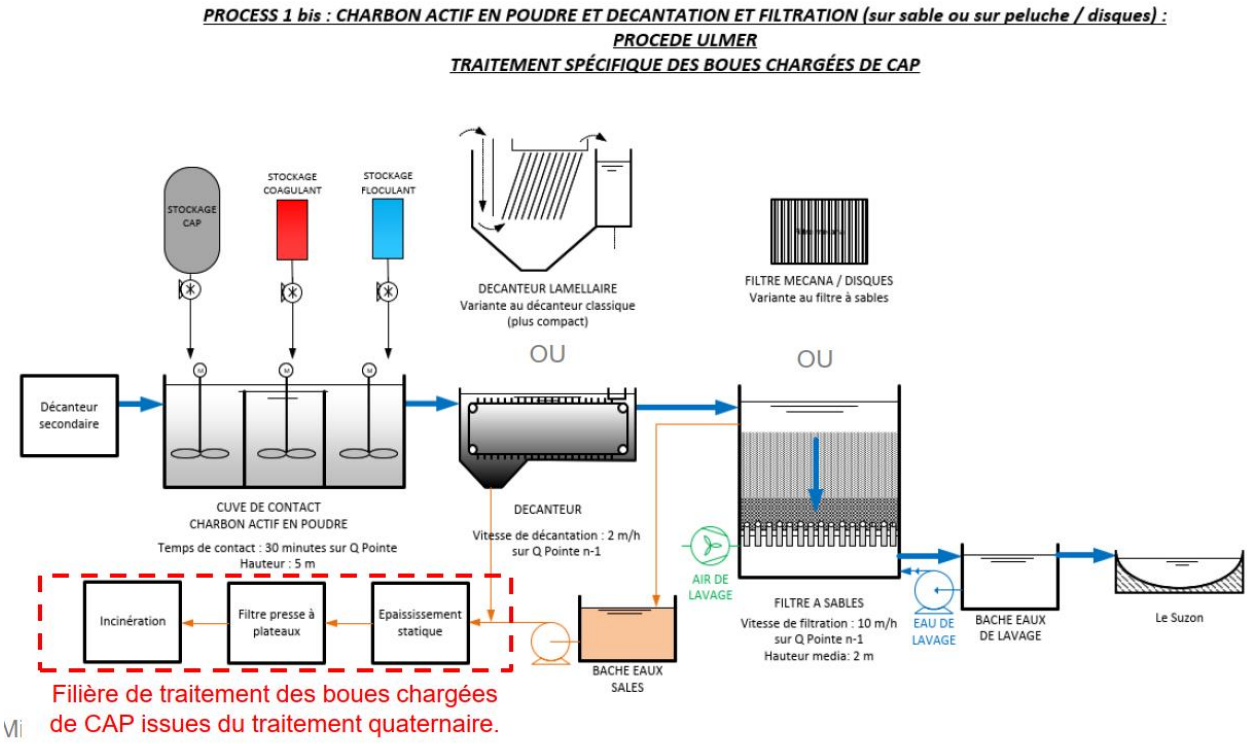


Figure 18 : Schéma de la filière de traitement des micropolluants par CAP avec filière de traitement des boues

Nous avons considéré cette filière Procédé 01 bis pour notre comparaison des filières de traitement des micropolluants.

3.5.3 Traitement par charbon actif en poudre (CAP) lit de boues ou Pulsagreen + filtration sur sable **Procédé 02 et 02 bis**

A- Principe

La filière correspond à la mise en œuvre du procédé Pulsagreen (Brevet SUEZ ou Degrémont).

Le Pulsagreen™ est un décanteur lamellaire à lit de charbon actif en poudre (CAP) pulsé. Les pulsations optimisent la mise en contact des micropolluants avec le CAP, favorisant leur adsorption, puis leur élimination lors de la décantation lamellaire. La présence des modules lamellaires au-dessus du lit de CAP améliore la décantation et réduit les départs de CAP vers le milieu récepteur.

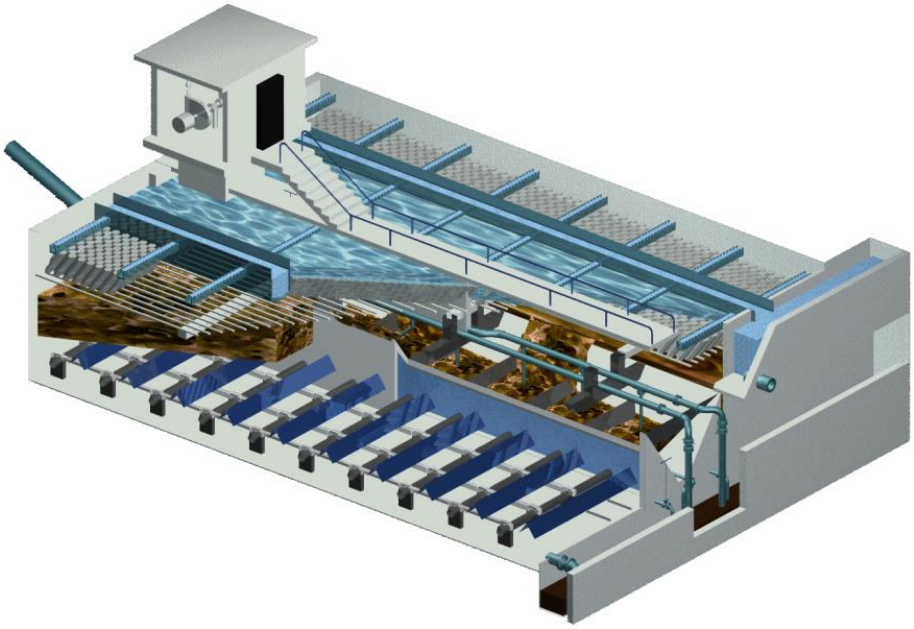


Figure 19 : Vue en 3D d'un décanteur lamellaire Pulsagreen

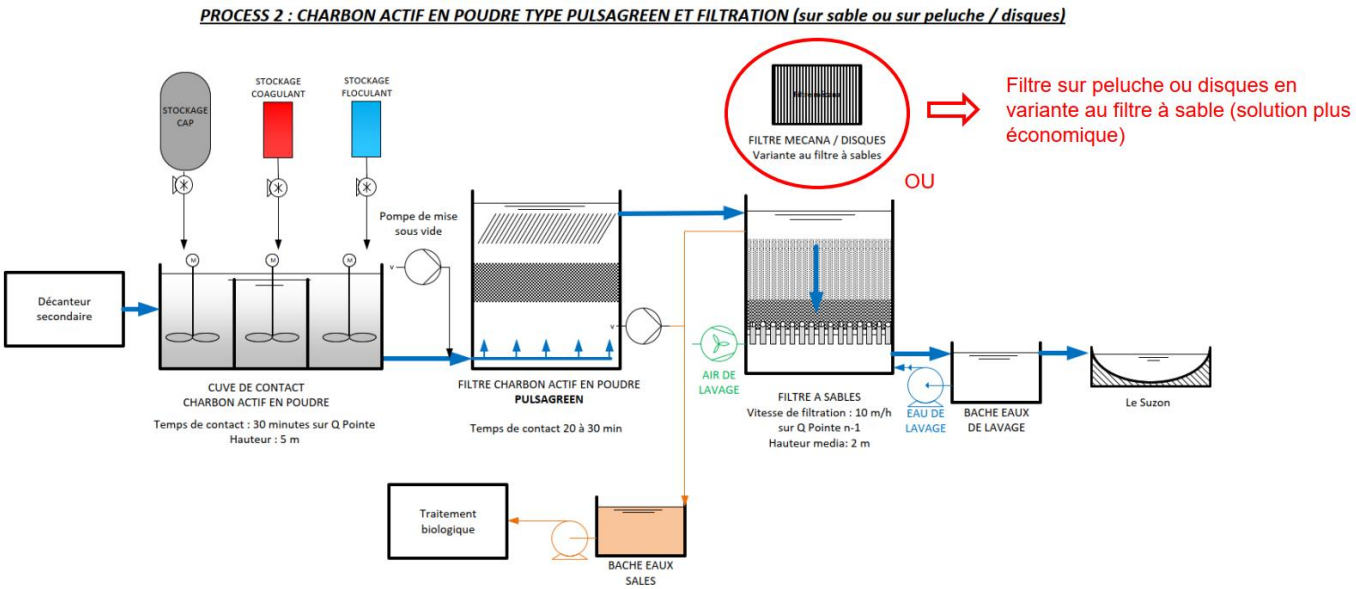


Figure 20 : Schéma de la filière décanteur lamellaire Pulsagreen

B- Dimensionnement de la filière charbon actif en poudre (CAP) lit de boues ou Pulsagreen + filtration sur sable

Le tableau ci-dessous présente le dimensionnement charbon actif en poudre (CAP) lit de boues ou Pulsagreen + filtration sur sable.

PROCESS 2 : CHARBON ACTIF EN POUDRE TYPE PULSAGREEN + FILTRATION SUR SABLES	Unité	V1	V2
Données d'entrée			
Débit de pointe	m^3/h	5'200	3'000
Cuve de contact CAP			
Temps de contact sur Q pointe	min	30	30
Hauteur cuve	m	5	5
Volume de cuve	m^3	2'600	1'500
Surface de cuve	m^2	520	300
Cuve de Coagulation			
Temps de contact sur Q pointe	min	3	3
Hauteur cuve	m	5	5
Volume de cuve	m^3	260	150
Surface de cuve	m^2	52	30
Cuve de Floculation			
Temps de contact sur Q pointe	min	5	5
Hauteur cuve	m	5	5
Volume de cuve	m^3	433	250
Surface de cuve	m^2	87	50
CAP PULSAGREEN			
Temps de contact sur Q pointe	min	20	20
Hauteur cuve	m	5	5
Volume de cuve	m^3	1'733	1'000
Surface de cuve	m^2	347	200
Filtre sur sables			
Vitesse de filtration à N-1 filtre	m/h	10	10
Hauteur média	m	2	2
Surface totale de filtration à N-1 filtre	m^2	520	300
Volume total de filtration	m^3	1'040	600
Surface des ouvrages hydrauliques	m^2	1'525	880
Coefficient d'emprise au sol		1.5	1.5
Emprise au sol totale des installations	**m^2**	**2'288**	**1'320**

Figure 21 : Dimensionnement de la filière Pulsagreen

NOTA IMPORTANT : nous avons intégré dans cette filière de traitement **une filtration** en aval de la décantation afin de limiter les fuites de fines de Charbon actif en Poudre en sortie de décantation.

L'emprise nécessaire est de 2'300 m^2 pour la variante V1 (débit à traiter de 5'200 m^3/h) et de 1'320 m^2 pour la variante V2 (débit à traiter de 3'000 m^3/h), ce qui est compatible avec la surface disponible.

C- Analyse de la mise en œuvre de procédé sur la Step Eau Vitale de Dijon

Nous avons analysé la mise en œuvre de ce procédé suivant les critères d'évaluation proposés par Odivea.

Critère 1 – Robustesse du procédé et simplicité d'exploitation :

- Procédé robuste mais très peu répandu en traitement des eaux usées (généralement utilisé en eau potable : Pulsazur).

Critère 2 – Retour du CAP dans les boues biologiques :

- Production un peu plus importante de boues avec CAP. Inconvénient avec filière de compostage compte tenu du risque de pollution des boues évacuées de la STEP. En effet, bien que la co-incinération en UVE soit la filière d'élimination des boues projetée pour la STEP d'Odivea, la compatibilité des boues avec filière de secours réglementaire, le compostage pour la STEP d'Odivea, doit tout de même être assurée.

Critère 3 – Adéquation du procédé avec l'effluent :

- Procédé adéquat avec les effluents de la STEP d'ODIVEA

Critères 4 et 5 : Couts (CAPEX et OPEX) :

- Procédé peu économique au niveau de l'investissement et de l'exploitation.

Critère 6 : Appel d'offres attractif et ouverture fournisseurs :

- Procédé breveté (procédé Suez).

D- Références

Ce procédé a été mis en œuvre pour le traitement des micropolluants en eau potable mais n'a pas été mis en œuvre pour le traitement des micropolluants en eaux usées.

E- Mutualisation du procédé de traitement des micropolluants avec le traitement des microplastiques et des métaux lourds

Nous avons également analysé la mutualisation de ce procédé avec les objectifs de traitement des autres polluants envisagés sur la STEP Odivea.
Le procédé charbon actif en poudre (CAP) lit de boues ou Pulsagreen + filtration sur sable peut s'avérer intéressant pour l'élimination des métaux lourds (en parallèle : le procédé traiterait, en même temps et dans un même ouvrage, les micropolluants et les métaux lourds) et ce procédé est également efficace pour l'élimination des microplastiques (filtre à sables).

F- Conclusion

Ce procédé n'est pas envisageable pour la STEP de Dijon ODIVEA du fait de la production de boues issues du traitement des micropolluants avec Charbon Actif en Poudre retournées en filière biologique. **Les boues biologiques (avec celles du traitement quaternaire) ne peuvent pas être ensuite mise en œuvre en valorisation agricole ou en filière de compostage.**

NOTA IMPORTANT Un traitement spécifique des boues chargées de CAP devrait être mis en œuvre afin de ne pas transférer les micropolluants dans les boues biologiques (cf. **Process 2 bis** ci-après).

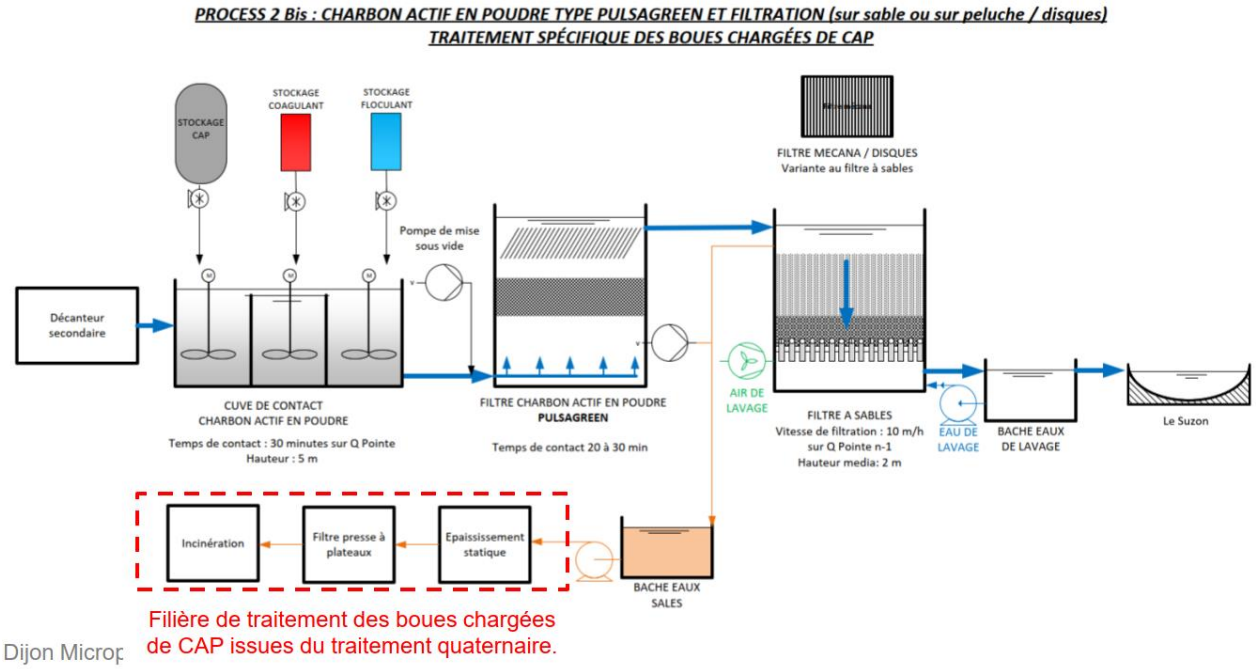


Figure 22 : Schéma de la filière de traitement des micropolluants par CAP avec filière de traitement des boues

Nous avons considéré cette filière Procédé 02 bis pour notre comparaison des filières de traitement des micropolluants.

3.5.4 Traitement par charbon actif en poudre (CAP) direct + filtration sur sable AKTIFILT **Procédé 03 et 03 bis**

A- Principe

Le procédé dit « Aktifilt» correspond à la combinaison de deux étapes suivantes : l'adsorption sur charbon actif en poudre (CAP) direct et la filtration à sables à lit profond en aval.

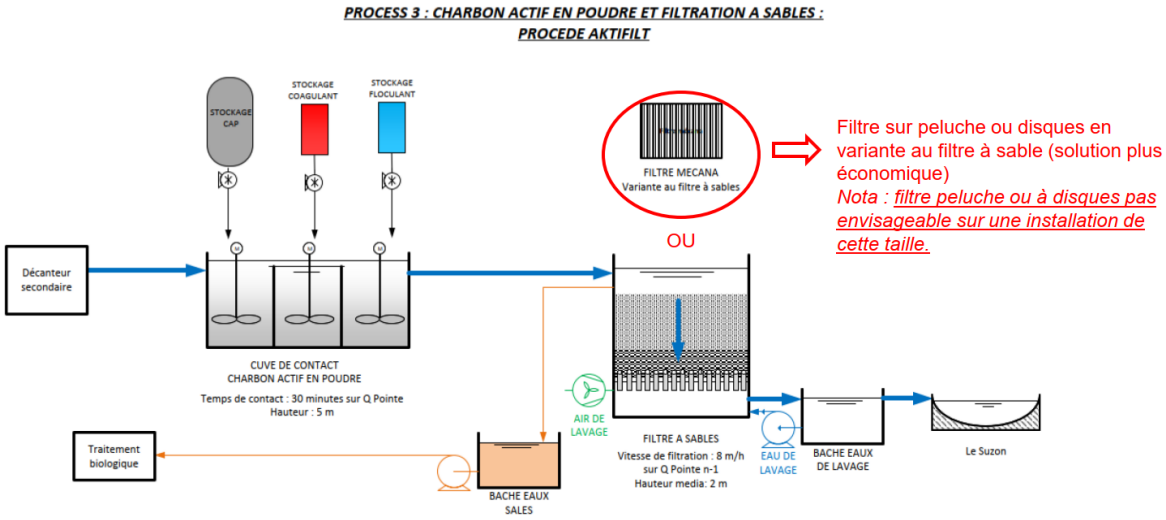


Figure 23 : Schéma de la filière de traitement des micropolluants par CAP Aktifilt

B- Dimensionnement de la filière charbon actif en poudre (CAP) Aktifilt

Le tableau ci-dessous présente le dimensionnement charbon actif en poudre (CAP) Aktifilt + filtration sur sable.

PROCESS 3 : CHARBON ACTIF EN POUDRE + FILTRATION SUR SABLES = PROCEDE AKTIFILT			
	Unité	V1	V2
Données d'entrée			
Débit de pointe	m^3/h	5'200	3'000
Cuve de contact CAP			
Temps de contact sur Q pointe	min	30	30
Hauteur cuve	m	5	5
Volume de cuve	m^3	2'600	1'500
Surface de cuve	m^2	520	300
Cuve de Coagulation			
Temps de contact sur Q pointe	min	3	3
Hauteur cuve	m	5	5
Volume de cuve	m^3	260	150
Surface de cuve	m^2	52	30
Cuve de Floculation			
Temps de contact sur Q pointe	min	5	5
Hauteur cuve	m	5	5
Volume de cuve	m^3	433	250
Surface de cuve	m^2	87	50
Filtre sur sables			
Vitesse de filtration à N-1 filtre	m/h	8	8
Hauteur média	m	2	2
Surface totale de filtration à N-1 filtre	m^2	650	375
Volume total de filtration	m^3	1'300	750
Surface des ouvrages hydrauliques	m^2	1'309	755
Coefficient d'emprise au sol		1.5	1.5
Emprise au sol totale des installations	**m^2**	**1'963**	**1'133**
Bleu : données de dimensionnement issues de la littérature			
Italique : proposition de dimensionnement, à affiner par la suite si la filière est retenue			

Figure 24 : Dimensionnement de la filière de traitement des micropolluants par CAP Aktifilt

L'emprise nécessaire est de 2'000 m^2 pour la variante V1 (débit à traiter de 5'200 m^3/h) et de 1'100 m^2 pour la variante V2 (débit à traiter de 3'000 m^3/h), ce qui est compatible avec la surface disponible.

C- Analyse de la mise en œuvre de procédé sur la Step EauVitale de Dijon

Nous avons analysé la mise en œuvre de ce procédé suivant les critères d'évaluation proposés par Odivea.

Critère 1 – Robustesse du procédé et simplicité d'exploitation :

- Procédé robuste et profite d'un grand retour d'expérience.

Critère 2 – Retour du CAP dans les boues biologiques :

- Production un peu plus importante de boues avec CAP. Inconvénient avec filière de compostage compte tenu du risque de pollution des boues évacuées de la STEP. En effet, bien que la co-incinération en UVE soit la filière d'élimination des boues projetée pour la STEP d'Odivea, la compatibilité des boues avec filière de secours réglementaire, le compostage pour la STEP d'Odivea, doit tout de même être assurée.

Critère 3 – Adéquation du procédé avec l'effluent :

- Procédé adéquat avec les effluents de la STEP d'ODIVEA

Critères 4 et 5 : Couts (CAPEX et OPEX) :

- Procédé compact et intéressant économiquement du point de vue des investissements.
- Par contre, procédé peu intéressant du point de vue de l'exploitation, avec risque de colmatage du filtre à sable en cas de charge importante à traiter.

Critère 6 : Appel d'offres attractif et ouverture fournisseurs :

- Procédé non breveté. Dimensionnement dans le domaine public.

- Un grand nombre de fournisseurs est capable de répondre : Degrémont, OTV, Sources, Stéreau, Techfina, Sogea, Wabag

D- Références

Ce procédé a été mis en œuvre pour le traitement des micropolluants sur de nombreuses stations d'épuration en Suisse et en Allemagne depuis environ 5 ans.

+ Références :
  - STEP d'Ecublens, Mise en service 2023
  - STEP de Bioggio, en planification / travaux
  - STEP de Ergloz 1, en planification / travaux
  - STEP de la Chaux-de-Fonds, en planification / travaux
  - STEP de Lachen-Untermarch, en planification / travaux
  - STEP de Lucens, en planification / travaux

+ Références :
  - **STEP Esslingen, Egg-Oettwil, Mise en service 2020, Capacité MP 756 m³/h**





Dimensionierungsgrundlagen und Technologien

Parameter	Einheit	Wert
max. Zulauf PAK-Flockungsreaktor und Filter	l/s	210
min. Kontaktzeit im Flockungsreaktor	min	19
Max. Filtergeschwindigkeit bei n = 4 Zellen / bei n-1 = 3 Zellen	m/h	12.4 / 16.6
Dosierung PAK	mgPAK/l	ca. 10 (Bereich von 5 bis 20 möglich)
Dosierung $FeCl_3$ (Nachfällung)	mgFe/l	ca. 1.0
Rückführung PAK-Überschussschlamm	In die Biologie (Normalfall) oder in den Sandfang	
PAK-Typ		Donau Carbon, Carbopal AP (bei IBS), ab Februar 2021 CSC, PharmA Clean

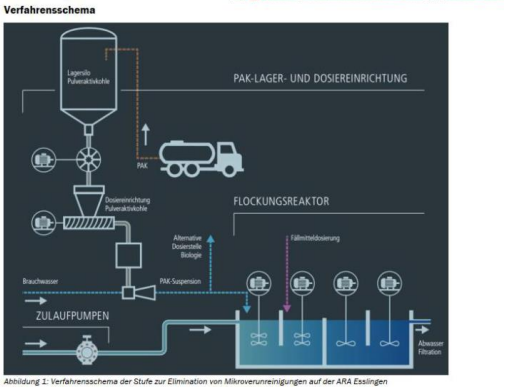


Figure 25 : Référence d'installation de traitement des micropolluants par procédé AKTIFILT

E- Mutualisation du procédé de traitement des micropolluants avec le traitement des microplastiques et des métaux lourds

Nous avons également analysé la mutualisation de ce procédé avec les objectifs de traitement des autres polluants envisagés sur la STEP Odivea.
Le procédé charbon actif en poudre (CAP) Aktiflit + filtration sur sable peut s'avérer intéressant pour l'élimination des métaux lourds (en parallèle : le procédé traiterait, en même temps et dans un même ouvrage, les micropolluants et les métaux lourds) et également efficace pour l'élimination des microplastiques (filtre à sables).

F- Conclusion

Ce procédé n'est pas envisageable pour la STEP de Dijon ODIVEA du fait de la production de boues issues du traitement des micropolluants avec Charbon Actif en Poudre retournées en filière biologique. **Les boues ne peuvent pas être ensuite mises en œuvre en valorisation agricole ou en filière de compostage.**

NOTA IMPORTANT Un traitement spécifique des boues chargées de CAP devrait être mis en œuvre afin de ne pas transférer les micropolluants dans les boues biologiques (cf. **Procédé 3bis** ci-après).

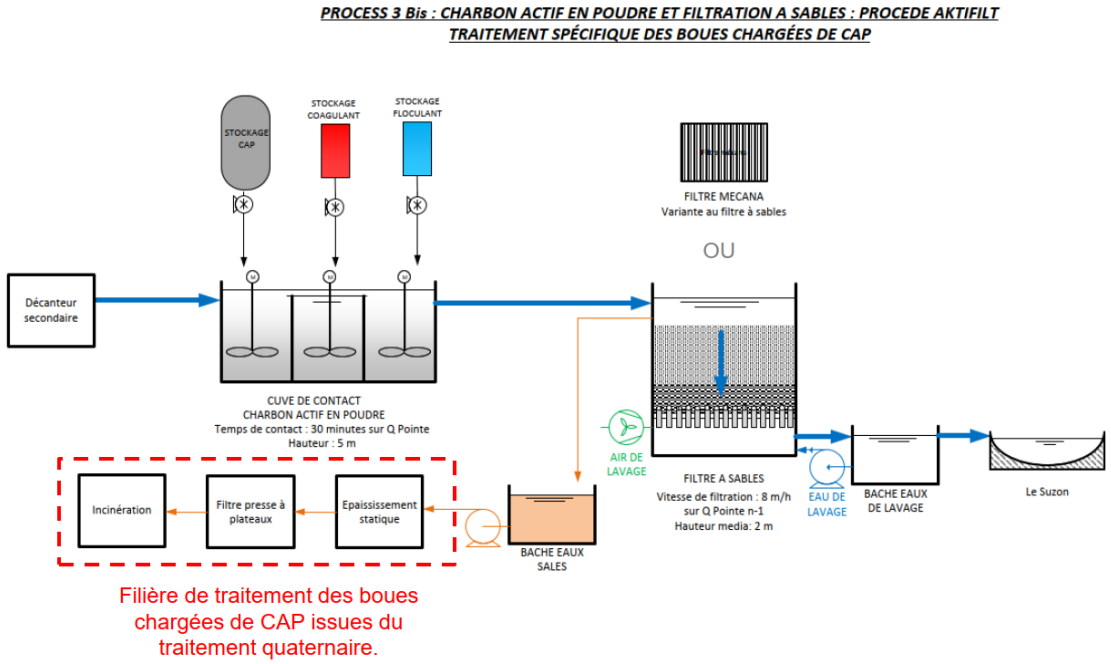


Figure 24 Schéma de la filière de traitement des micropolluants par CAP avec filière de traitement des boues

Nous avons considéré cette filière Procédé 03 bis pour notre comparaison des filières de traitement des micropolluants.

3.5.5 Traitement par charbon actif en poudre (CAP) Dosage direct CAP dans Biologie + Filtration à sables **Procédé 04**

A- Principe

Le procédé correspond à un dosage direct du CAP dans les bassins biologiques (boues activées) et une filtration à sables après la décantation secondaire afin de retenir les fines de CAP non piégées par la décantation secondaire.

NOTA : ce procédé est intéressant lorsque le traitement biologique possède une capacité de traitement de réserve.

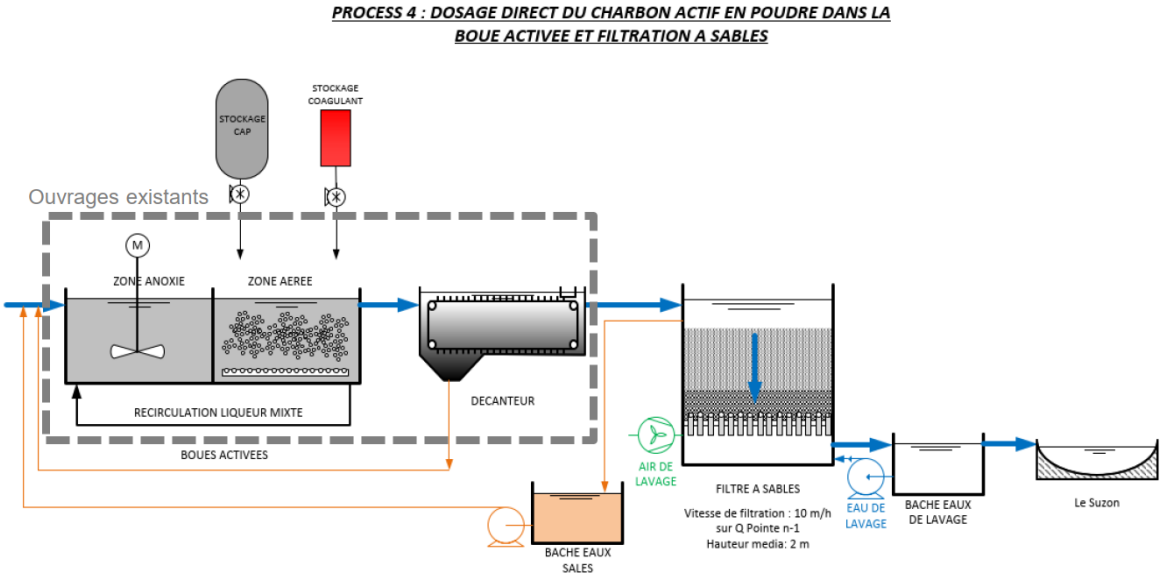


Figure 26 : Schéma de la filière de traitement des micropolluants avec dosage direct du CAP dans le traitement biologique

B- Dimensionnement de la filière charbon actif en poudre Dosage direct

Le tableau ci-dessous présente le dimensionnement charbon actif en poudre (CAP) Dosage direct dans Biologie + filtration sur sable.

PROCESS 4 : DOSAGE CHARBON ACTIF EN POUDRE DANS BIOLOGIE + FILTRATION SUR SABLE			
	Unité	V1	V2
Données d'entrée			
Débit de pointe	m^3/h	5'200	3'000
Boues activée		Ouvrage existant	
Augmentation de concentration avec dosage CAP	g/gMS	1g / g MS	1g / g MS
Clarificateur		Ouvrage existant	
Filtre sur sables			
Vitesse de filtration à N-1 filtre	m/h	10	10
Hauteur média	m	2	2
Surface totale de filtration à N-1 filtre	m^2	520	300
Volume total de filtration	m^3	1'040	600
Surface des ouvrages hydrauliques	m^2	520	300
Coefficient d'emprise au sol		1.5	1.5
Emprise au sol totale des installations	**m^2**	**780**	**450**
Bleu : données de dimensionnement issues de la littérature			
Italique : proposition de dimensionnement, à affiner par la suite si la filière est retenue			

Figure 27 : Dimensionnement de la filière de traitement des micropolluants par CAP Dosage Direct

La surface nécessaire pour ces installations est 800 m^2 pour la variante V1 (débit à traiter de 5'200 m^3/h) et de 450 m^2 pour la variante V2 (débit à traiter de 3'000 m^3/h), ce qui est compatible avec la surface disponible.

C- Analyse de la mise en œuvre de procédé sur la Step Eau Vitale de Dijon

Nous avons analysé la mise en œuvre de ce procédé suivant les critères d'évaluation proposés par Odivea.

Critère 1 – Robustesse du procédé et simplicité d'exploitation :

- Procédé robuste et profite d'un retour d'expérience.

Critère 2 – Retour du CAP dans les boues biologiques :

- Production plus importante de boues avec CAP. Inconvénient avec filière de compostage compte tenu du risque de pollution des boues évacuées de la STEP. En effet, bien que la co-incinération en UVE soit la filière d'élimination des boues projetée pour la STEP d'Odivea, la compatibilité des boues avec filière de secours réglementaire, le compostage pour la STEP d'Odivea, doit tout de même être assurée.

Critère 3 – Adéquation du procédé avec l'effluent / STEP ODIVEA :

- Procédé adéquat avec les effluents de la STEP d'ODIVEA
- Procédé intéressant dans une STEP existante **dont les bassins biologiques boues activées sont largement dimensionnés. → Confirmation par ODIVEA d'une réserve de capacité de la biologie**
- Impact sur le procédé InDense non connu → risque

Critères 4 et 5 : Couts (CAPEX et OPEX) :

- Procédé très compact et permet un investissement réduit.
- Procédé qui demande des coûts d'exploitation élevés (dose de CAP nécessaire plus élevée).

Critère 6 : Appel d'offres attractif et ouverture fournisseurs :

- Procédé non breveté. Dimensionnement dans le domaine public.
- Un grand nombre de fournisseurs est capable de répondre : Degrémont, OTV, Sources, Stereau, Techfina, Sogea, Wabag

D- Références

Ce procédé a été mis en œuvre pour le traitement des micropolluants sur quelques stations d'épuration en Suisse et en Allemagne depuis environ 5 ans.

+ Références :

– **STEP de Flos, Mise en service 2019, Capacité MP 1'620 m³/h**





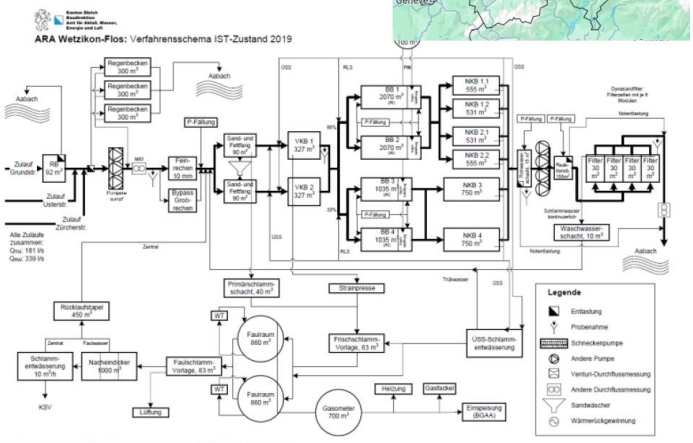


Abbildung 1: Verfahrensschema PAK-Dosierung

82

Dimensionierung und Technologien

Parameter	Einheit	Wert
max. Zulauf PAK-Anlage	l/s	450 (Bestand, vor Ausbau ARA)
min. Kontaktzeit PAK in der Nachbelüftungszone	min	30
Volumen Belebungsbecken gesamt inkl. NB	m3	2 x 1'035 + 2 x 2070 (Bestand, vor Ausbau ARA)
min. Aufenthaltszeit Sedimentation	h	2.3
max. Oberflächenbeschickung PAK-Sedimentation	m/h	1.6 (Bestand, vor Ausbau ARA)
Max. Zulauf Filter	l/s	450 (Bestand, vor Ausbau ARA)
Schichtdicke Filter	m	1.5

Figure 28 : Référence d'installation de traitement des micropolluants par procédé CAP dosage dans la biologie et filtration

E- Mutualisation du procédé de traitement des micropolluants avec le traitement des microplastiques et des métaux lourds

Nous avons également analysé la mutualisation de ce procédé avec les objectifs de traitement des autres polluants envisagés sur la STEP Odivea.
Ce procédé seul est peu intéressant pour l'élimination des métaux lourds. Il faudrait envisager la possibilité d'ajouter une coagulation - floculation + filtration en sortie de traitement des micropolluants pour l'abattement des métaux lourds.
Par contre, ce procédé est efficace pour l'élimination des microplastiques (filtre à sables).

F- Conclusion

Ce procédé n'est pas envisageable pour la STEP de Dijon ODIVEA du fait de la production de boues issues du traitement des micropolluants avec Charbon Actif en Poudre combinées avec celles de la filière biologique. **Les boues ne peuvent pas être ensuite mises en œuvre en valorisation agricole ou en filière de compostage. Ce procédé n'est pas retenu.**

3.5.6 Dosage CAP dans traitement Biologique et filtration membranaire MBR **Procédé 5**

Ce procédé 5 est similaire au procédé 4 mais au lieu d'une décantation secondaire classique une filtration membranaire est mise en œuvre.

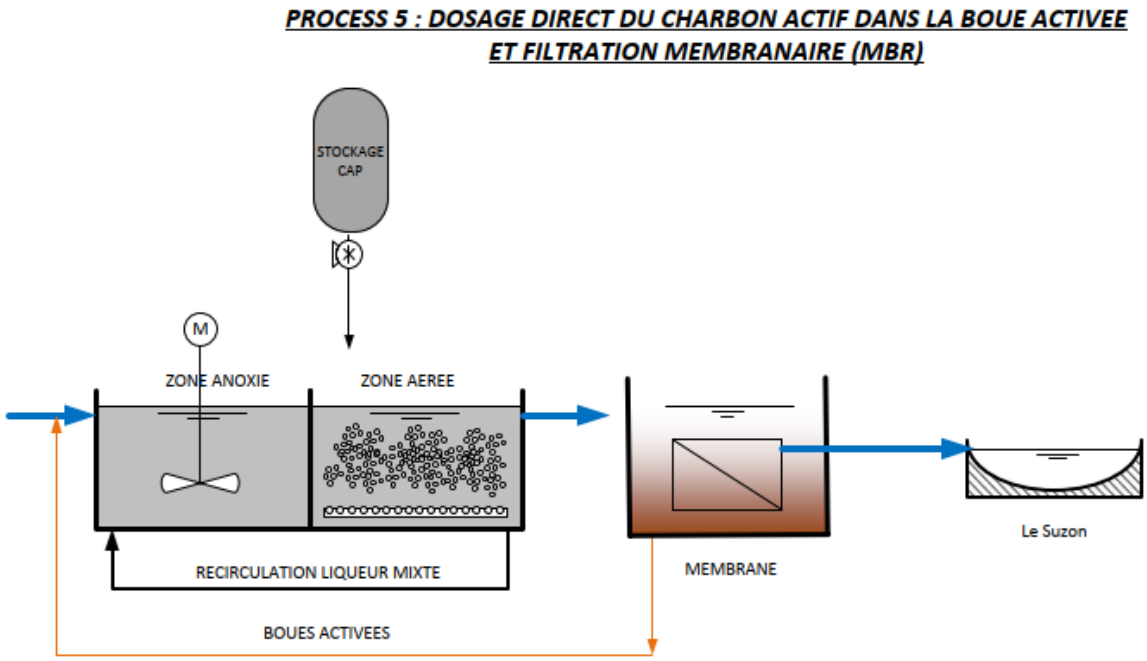


Figure 29 : Schéma de la filière de traitement des micropolluants par CAP Dosage Direct et MBR

CONCLUSION : Cette filière n'a pas été étudiée étant donné que la station EauVitale de Dijon est déjà équipée d'un procédé de traitement d'eau classique (boues activées + décanteur secondaire) et non pas d'une filtration membranaire. Cette solution n'est ainsi pas compatible avec la filière existante.

3.5.7 Traitement par charbon actif (Charbon actif en micro-grain) **Procédé 6**

A- Principe

Ce procédé correspond à la filtration ascensionnelle des effluents à travers un lit en expansion de charbon actif micro-grain.

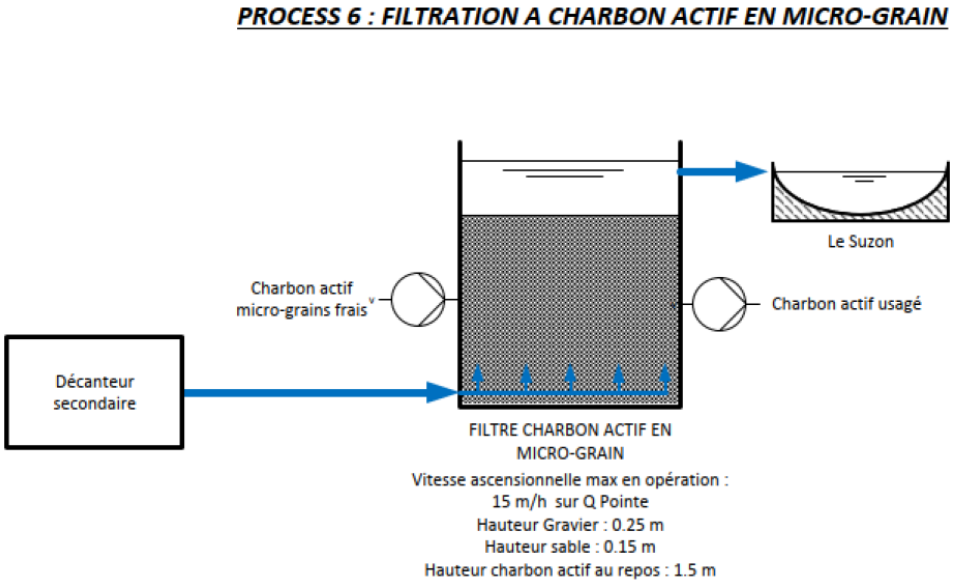


Figure 30 : Schéma de la filière de traitement des micropolluants par MicroCAG

B- Dimensionnement de la filière charbon actif Micro-grain

Le tableau ci-dessous présente le dimensionnement charbon actif micro-grain.

PROCESS 6 : CHARBON ACTIF EN MICRO-GRAIN				
	Unité	**V1**	**V2**	
Données d'entrée				
Débit de pointe	m^3/h	5'200	3'000	
Filtre sur charbon actif micro-grain				
Vitesse ascensionnelle maximale en opération	m/h	15	15	Domaine de fonctionnement standard : 6.7 - 15.1 m/h
Surface totale de filtration	m^2	347	200	
Largeur cellule	m	5.20	5.20	
Longueur cellule	m	5.20	5.20	
Ration Longueur / Largeur		1	1	
Surface unitaire de cellule	m^2	27	27	Exemple STEP Colombier
Nombre de cellule en fonctionnement	u	13	7	
Hauteur de cellule	m	6.0	6.0	
Hauteur de la couche de gravier	m	0.25	0.25	
Hauteur de la couche de sable	m	0.15	0.15	
Hauteur du lit de charbon actif au repos	m	1.5	1.5	
Hauteur maximale du lit de charbon actif (expansion 60% pour une vitesse de 15.1 m/h et eau à 9.2°C)	m	2.4	2.4	
Garde hydraulique minimale (niveau sortie - lit charbon)	m	3.6	3.6	
Surface des ouvrages hydrauliques	m^2	347	200	
Coefficient d'emprise au sol		2	2	
Emprise au sol totale des installations	**m^2**	**693**	**400**	
Bleu : données de dimensionnement issues de la littérature				
Italique : proposition de dimensionnement, à affiner par la suite si la filière est retenue				

Figure 31 : Dimensionnement de la filière de traitement des micropolluants par charbon actif micro grain

La surface nécessaire pour ces installations est 700 m^2 pour la variante V1 (débit à traiter de 5'200 m^3/h) et de 400 m^2 pour la variante V2 (débit à traiter de 3'000 m^3/h), ce qui est compatible avec la surface disponible.

C- Analyse de la mise en œuvre de procédé sur la Step EauVitale de Dijon

Nous avons analysé la mise en œuvre de ce procédé suivant les critères d'évaluation proposés par Odivea.

Critère 1 – Robustesse du procédé et simplicité d'exploitation :

- Procédé robuste, simple d'exploitation et bénéficiant d'un grand nombre de références.

Critère 2 – Retour du charbon actif dans les boues biologiques :

- Le procédé ne produit pas de boues à renvoyer dans la biologie. Le procédé produit des eaux sales, qui ne sont pas chargées en charbon actif. Ces eaux sales sont renvoyées en tête de station.
- Le procédé est compatible avec la filière de compostage des boues.

Critère 3 – Adéquation du procédé avec l'effluent :

- Procédé adéquat avec les effluents de la STEP d'ODIVEA

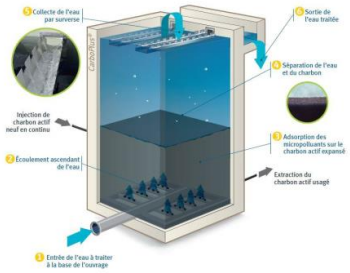
Critères 4 et 5 : Couts (CAPEX et OPEX) :

- Procédé peu économique au niveau de l'investissement.
- Procédé intéressant au niveau des coûts d'exploitation.

Critère 6 : Appel d'offres attractif et ouverture fournisseurs :

- Procédé breveté

Stereau : Carboplus



OTV : Opacarb FL



Techfina : Filt Micro CAG



Sources : Carbocycle



D- Références

Ce procédé a été mis en œuvre pour le traitement des micropolluants sur des stations d'épuration en Suisse et en Allemagne depuis environ 5 ans.

- Références :
  - STEP de Delémont, mise en service 2022, CarboPlus
  - STEP de Villette, mise en service 2024, CarboPlus
  - STEP de Luzern, en planification
  - STEP de Niederglatt, en planification
  - STEP de Rosenbergsau, en planification
  - STEP de Yverdon, mise en service 2024, CarboPlus
  - STEP de la Saunerie à Colombier, en planification, CarboPlus
  - STEP de la Region de Bern AG, Travaux en cours, CarboPlus
  - STEP de Regensdorf, en planification
  - STEP de Frauenfeld, en planification

- Références :
  - STEP de Penthaz, mise en service 2018, Procédé CarboPlus, Capacité MP 324 m^3/h

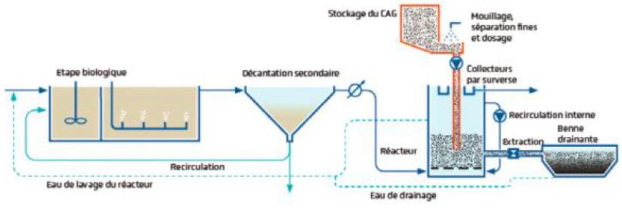
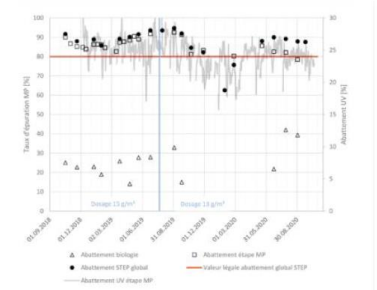


Fig. 2 Schéma de principe des différents éléments du traitement des micropolluants par CAG en lit fluidisé. Dans le cas de la STEP de Penthaz, une filtration sur disques suit la décantation secondaire.

Paramètres de dimensionnement	Unité	Réalisation STEP de Penthaz
Nombre de réacteurs	[u]	2
Surface par réacteur	[m²]	12,25 (3,5 × 3,5)
Vitesse ascensionnelle	[m/h]	7 à 15 (max 20)
Hauteur du lit au repos	[m]	1,5
Hauteur du lit en expansion (15 m/h)	[m]	2,2
Volume du silo	[m³]	25

Tab. 1 Dimensionnement du procédé à la STEP de Penthaz.



ig. 4 Taux d'épuration des micropolluants de la biologie, de l'étape MP et de la STEP globale et abattement UV de l'étape MP en fonction du dosage de charbon actif. La ligne rouge marque la valeur légale requise pour l'ensemble de la STEP.

Figure 32 : Référence d'installation de traitement des micropolluants par procédé charbon actif en micro-grain

E- <u>Mutualisation du procédé de traitement des micropolluants avec le traitement des microplastiques et des métaux lourds</u>

Nous avons également analysé la mutualisation de ce procédé avec les objectifs de traitement des autres polluants envisagés sur la STEP Odivea.
Ce procédé seul est peu intéressant pour l'élimination des métaux lourds étant donné le faible pouvoir filtrant du micro-CAG. Même avec l'ajout d'une étape de coagulation-floculation en amont, le filtre micro-CAG ne retiendrait pas de manière suffisante les métaux lourds. L'ajout d'une étape de filtration complémentaire en aval serait nécessaire.
Ce procédé est également moins efficace pour l'élimination des microplastiques pour les mêmes raisons (le pouvoir filtrant du charbon actif en micro-grain est moindre).

F- <u>Conclusion</u>

Ce procédé est envisageable sur la STEP de Dijon ODIVEA pour l'abattement des micropolluants mais il nécessite d'être complété par d'autres procédés pour traiter les autres familles de polluants.

3.5.8 Traitement par charbon actif en Grain ou CAG à flux descendant **Procédé 7**

A- Principe

Ce procédé correspond à la filtration descendante des effluents à travers un lit de charbon actif en grain dans le cas du **procédé 7**.

Ce procédé est bien connu et est déjà mis en œuvre depuis longtemps en traitement d'eaux potables ou eaux industrielles.

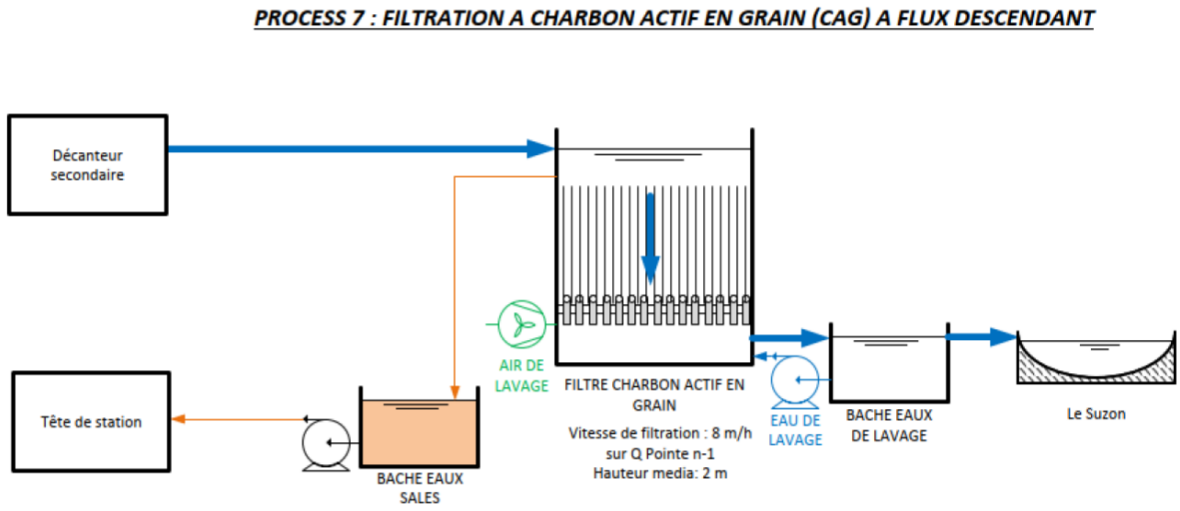


Figure 33 : Schéma de la filière de traitement des micropolluants par CAG

B- Dimensionnement de la filière charbon actif en grain à flux descendant

Le tableau ci-dessous présente le dimensionnement charbon actif en grain à flux descendant.

PROCESS 7 : CHARBON ACTIF EN GRAIN (CAG) A FLUX DESCENDANT			
	Unité	V1	V2
Données d'entrée			
Débit de pointe	m^3/h	5'200	3'000
Charbon actif en grain			
Temps de contact hydraulique à N-1 filtres	min	20	20
Volume CAG requis	m^3	1'733	1'000
Vitesse de filtration max sur débit de pointe à N-1 filtre	m/h	8	8
Surface totale de filtration à N-1 filtre	m^2	650	375
Longueur d'une cellule	m	*10*	*10*
Largeur d'une cellule	m	*5.5*	*5.5*
Ratio longueur / largeur		*1.8*	*1.8*
Surface d'une cellule	m^2	*55*	*55*
Nombre N de cellule	u	*12*	*7*
Hauteur média	m	2	2
Volume de média par cellule	m^3	*109*	*109*
Volume de média total	m^3	1'300	750
Temps de contact sur Q pointe	min	15	15
Surface des ouvrages hydrauliques	m^2	650	375
Coefficient d'emprise au sol		2	2
Emprise au sol totale des installations	**m^2**	**1'300**	**750**
Bleu : données de dimensionnement issues de la littérature			
Italique : proposition de dimensionnement, à affiner par la suite si la filière est retenue			

Figure 34 : Dimensionnement de la filière de traitement des micropolluants par charbon actif grain à flux descendant

La surface nécessaire pour ces installations est 1'300 m^2 pour la variante V1 (débit à traiter de 5'200 m^3/h) et de 800 m^2 pour la variante V2 (débit à traiter de 3'000 m^3/h), ce qui est compatible avec la surface disponible.

C- Analyse de la mise en œuvre de procédé sur la Step Eau Vitale de Dijon

Nous avons analysé la mise en œuvre de ce procédé suivant les critères d'évaluation proposés par Odivea.

Critère 1 – Robustesse du procédé et simplicité d'exploitation :

- Procédé robuste, simple d'exploitation et bénéficiant d'un grand nombre de références.

Critère 2 – Retour du charbon actif dans les boues biologiques :

- Le procédé ne produit pas de boues à renvoyer dans la biologie. Le procédé produit des eaux sales, qui ne sont pas chargées en charbon actif. Ces eaux sales sont renvoyées en tête de station.
- Le procédé est compatible avec la filière de compostage des boues.
- Le charbon actif est conservé intégralement dans les cellules. Lorsque saturé, le charbon actif en grain est extrait en totalité de la cellule et est remplacé pour un nouveau charbon. Le charbon usagé est évacué et peut être régénéré à l'extérieur du site.

Critère 3 – Adéquation du procédé avec l'effluent :

- Procédé adéquat avec les effluents de la STEP d'ODIVEA

Critères 4 et 5 : Couts (CAPEX et OPEX) :

- Au niveau de l'investissement il faut prendre en compte le cout de la première charge en Charbon Actif en Grain
- Procédé intéressant au niveau des coûts d'exploitation. → Test pilote à réaliser pour évaluer le nombre de Bed Volum ou Volumes de lit Filtrés du charbon actif en grain mis en œuvre (volumes d'eau filtrée que peut accepter un volume de Charbon Actif en maintenant les performances de traitement demandées).

Critère 6 : Appel d'offres attractif et ouverture fournisseurs :

- Procédé non breveté. Dimensionnement dans le domaine public.
- Un grand nombre de fournisseurs est capable de répondre : Degrémont, OTV, Sources, Stereau, Techfina, Sogea, Wabag

D- Références

Ce procédé a été mis en œuvre pour le traitement des micropolluants sur quelques stations d'épuration en Suisse et en Allemagne depuis environ 5 ans.

Références Suisse :

- STEP de Moos, Amriswil, mise en service 2021 (Dynasand Carbon)
- STEP de Muri, en travaux
- STEP de Winterthur, en planification
- STEP de Val-de-Ruz, mise en service 2024
- STEP de Brig, en planification
- STEP de Sensetal, mise en service 2024
- STEP de Sarneraatal, Alpnach, en planification
- STEP Vacallo, Chiasso, en planification
- STEP d'Orbe, en planification

Références France :

- STEP de Saint-Pourçain-sur-Sioule (Ozonation + CAG), débit 90 m^3/h

Essais pilotes Suisse :

- STEP de Muri, terminé en 2020
- STEP de Glarnerland, terminé en 2020
- STEP de Bülach, terminé en 2020
- STEP de Neugut, terminé en 2012

E- Mutualisation du procédé de traitement des micropolluants avec le traitement des microplastiques et des métaux lourds

Nous avons également analysé la mutualisation de ce procédé avec les objectifs de traitement des autres polluants envisagés sur la STEP Odivea.
Ce procédé est intéressant pour l'élimination des métaux lourds avec l'ajout d'une coagulation-floculation à l'amont. Le CAG sert alors de filtration.
Ce procédé est également intéressant pour l'élimination des microplastiques (pouvoir de filtration important).

F- Conclusion

Ce procédé est envisageable sur la STEP de Dijon ODIVEA, avec la mise en œuvre d'une coagulation floculation (optionnelle) à l'amont pour traiter les métaux lourds.

3.5.9 Traitement par charbon actif en Grain ou CAG à flux ascendant **Procédé 7 bis**

A- Principe

Ce procédé correspond à la filtration ascendante des effluents à travers un lit en expansion de charbon actif en grain dans le cas du **procédé 7 bis**.

Ce procédé correspond à une solution brevetée de Suez ou Degrémont Carbablue up ou Carbagreen.

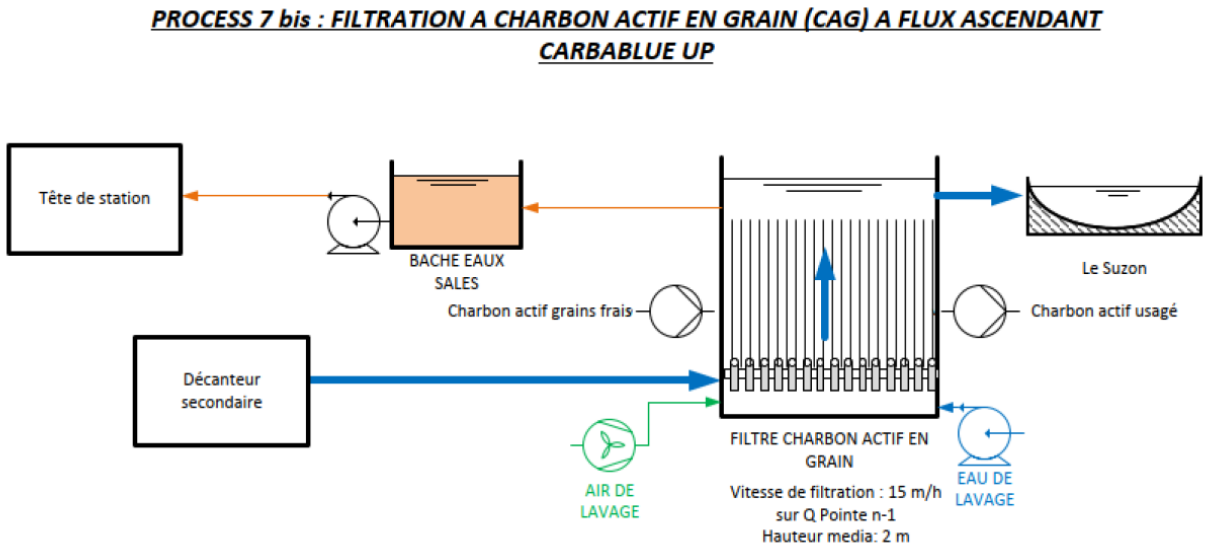


Figure 35 : Schéma de la filière de traitement des micropolluants par CAG à flux ascendant

B- Dimensionnement de la filière charbon actif en grain à flux ascendant

Le tableau ci-dessous présente le dimensionnement charbon actif en grain à flux ascendant.

PROCESS 7 bis : CHARBON ACTIF EN GRAIN (CAG) A FLUX ASCENDANT			
	Unité	V1	V2
Données d'entrée			
Débit de pointe	m^3/h	5'200	3'000
Charbon actif en grain			
Temps de contact hydraulique à N-1 filtres	min	15	15
Volume CAG requis	m^3	1'300	750
Vitesse de filtration max sur débit de pointe à N-1 filtre	m/h	12	12
Surface totale min de filtration à N-1 filtre	m^2	433	250
Longueur d'une cellule	m	*10*	*10*
Largeur d'une cellule	m	*5.5*	*5.5*
Ratio longueur / largeur		*1.8*	*1.8*
Surface d'une cellule	m^2	*55*	*55*
Nombre N de cellule	u	*8*	*5*
Hauteur média	m	3	3
Volume de média par cellule	m^3	*164*	*164*
Volume de média total	m^3	1'300	750
Temps de contact sur Q pointe	min	15	15
Surface des ouvrages hydrauliques	m^2	433	250
Coefficient d'emprise au sol		2	2
Emprise au sol totale des installations	**m^2**	**867**	**500**
Bleu : données de dimensionnement issues de la littérature			
Italique : proposition de dimensionnement, à affiner par la suite si la filière est retenue			

Figure 36 : Dimensionnement de la filière de traitement des micropolluants par charbon actif en grain à flux ascendant

La surface nécessaire pour ces installations est 900 m^2 pour la variante V1 (débit à traiter de 5'200 m^3/h) et de 400 m^2 pour la variante V2 (débit à traiter de 3'000 m^3/h), ce qui est compatible avec la surface disponible.

C- Analyse de la mise en œuvre de procédé sur la Step Eau Vitale de Dijon

Nous avons analysé la mise en œuvre de ce procédé suivant les critères d'évaluation proposés par Odivea.

Critère 1 – Robustesse du procédé et simplicité d'exploitation :

- Procédé robuste et simple d'exploitation. Toutefois aucune référence de ce procédé en France et en Suisse en traitement des eaux usées.

Critère 2 – Retour du charbon actif dans les boues biologiques :

- Le procédé ne produit pas de boues à renvoyer dans la biologie. Le procédé produit des eaux sales, qui ne sont pas chargées en charbon actif. Ces eaux sales sont renvoyées en tête de station.
- Le procédé est compatible avec la filière de compostage des boues.
- Le charbon actif est conservé intégralement dans les cellules. Lorsque saturé, le charbon actif en grain est extrait en totalité de la cellule et est remplacé pour un nouveau charbon. Le charbon usagé est évacué et peut être régénéré à l'extérieur du site.

Critère 3 – Adéquation du procédé avec l'effluent :

- Procédé adéquat avec les effluents de la STEP d'ODIVEA

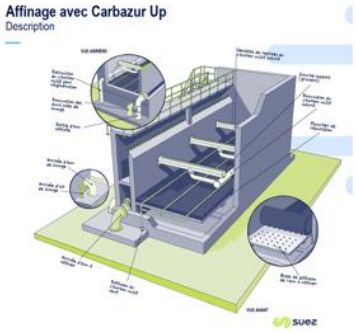
Critères 4 et 5 : Couts (CAPEX et OPEX) :

- Procédé peu économique au niveau de l'investissement.
- Procédé intéressant au niveau des coûts d'exploitation. Nécessite de changer des filtres en entier tous les 3 – 4 ans. Test pilote pour connaitre le BV.

Critère 6 : Appel d'offres attractif et ouverture fournisseurs :

- Procédé breveté
- Fournisseur possible : Degrémont

Degrémont :
Carbablue Up



D- Références

Actuellement aucune installation en France et en Suisse n'existe en traitement de l'eau usée. Un essai pilote est à venir sur la STEP de Chandoline (Sion VS Suisse).

E- Mutualisation du procédé de traitement des micropolluants avec le traitement des microplastiques et des métaux lourds

Nous avons également analysé la mutualisation de ce procédé avec les objectifs de traitement des autres polluants envisagés sur la STEP Odivea.
Ce procédé est moins intéressant que le CAG à flux descendant pour l'élimination des métaux lourds (filtration un peu moins intéressante que le CAG descendant).

Ce procédé est moins intéressant que le CAG à flux descendant pour l'élimination des microplastiques (pouvoir de filtration moins important).

F- Conclusion

Ce procédé est envisageable sur la STEP de Dijon ODIVEA, avec la mise en œuvre d'une coagulation floculation à l'amont pour traiter les métaux lourds.

3.5.10 Traitement des micropolluants par ozonation (et filtre à sables) **Procédé 08**

A- Principe

Ce procédé est robuste, assez compact et permet une exploitation économique. Il n'est cependant pas applicable à tous les types d'eau (possibilité de création de sous-produits indésirables) et induit une possible restriction sur de nouveaux rejets industriels.

Le schéma ci-dessous présente l'intégration et le principe d'une installation de traitement des micropolluants par ozonation et filtration à sables.

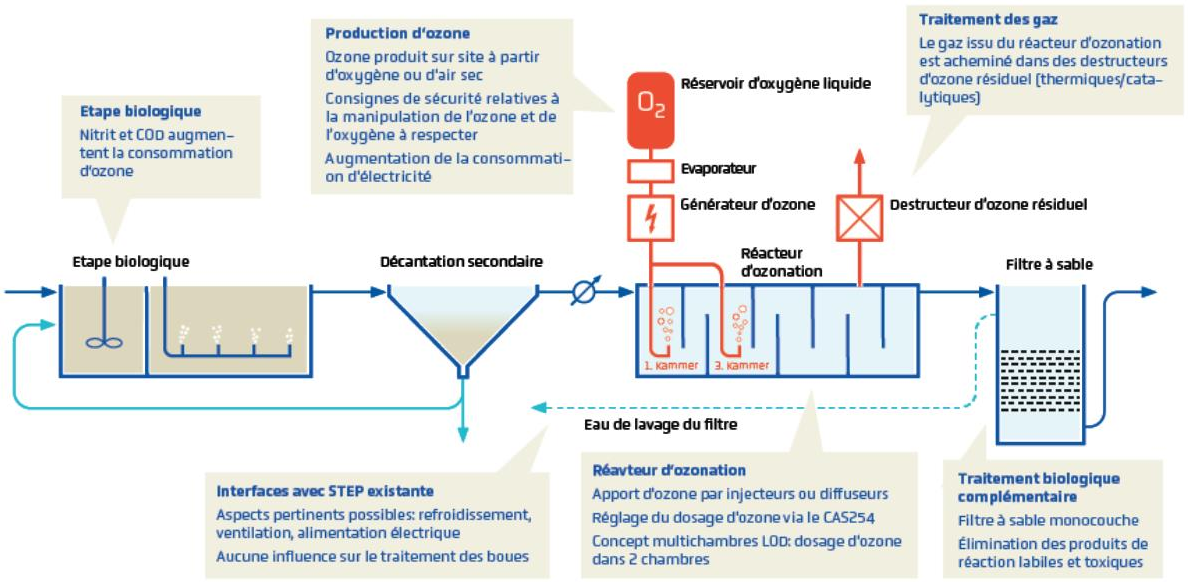


Figure 37 : Vue schématique d'un traitement des micropolluants par Ozonation

B- <u>Fonctionnement :</u> Un gaz contenant environ 10% d'ozone produit à partir d'oxygène est injecté dans le réacteur d'ozonation (ou cuve de contact) contenant les eaux à traiter. L'ozone se dissout et réagit avec les micropolluants. Les eaux sont ensuite filtrées sur un filtre à sables ou bi couches à lit profond afin de permettre la dégradation des sous-produits d'oxydation.

C- Pour information : en cas de mise en œuvre d'un procédé avec oxydation, une campagne de bio-essai (référence ENVILAB) serait nécessaire au préalable.

D- Dimensionnement de la filière Ozonation et filtration à sables

Le tableau ci-dessous présente le dimensionnement de la cuve de contact ou réacteur d'Ozonation et de la filtration à sables.

PROCESS 8 : OZONATION + FILTRATION SUR SABLES			
	Unité	V1	V2
Données d'entrée			
Débit de pointe	m^3/h	5'200	3'000
Cuve de contact ozone			
Temps de contact sur Q pointe	min	20	20
Hauteur cuve	m	6	6
Nombre de file	u	*1*	*1*
Volume de cuve par file	m^3	1'733	1'000
Surface de cuve par file	m^2	289	167
Filtre sur sables			
Vitesse de filtration à N-1 filtre	m/h	10	10
Hauteur média	m	2	2
Surface totale de filtration à N-1 filtre	m^2	520	300
Volume total de filtration	m^3	1'040	600
Surface des ouvrages hydrauliques	m^2	809	467
Coefficient d'emprise au sol		1.5	1.5
Emprise au sol totale des installations	m^2	**1'213**	**700**
Bleu : données de dimensionnement issues de la littérature			
Italique : proposition de dimensionnement, à affiner par la suite si la filière est retenue			

Figure 38 : Tableau de dimensionnement de l'ozonation et de la filtration à sables

La surface nécessaire pour ces installations est 1'200 m^2 pour la variante V1 et de 700 m^2 pour la variante V2, ce qui est compatible avec la surface disponible.

E- Analyse de la mise en œuvre de procédé sur la Step EauVitale de Dijon

Nous avons analysé la mise en œuvre de ce procédé suivant les critères d'évaluation proposés par Odivea.

Critère 1 – Robustesse du procédé et simplicité d'exploitation :

- Procédé robuste, simple d'exploitation et bénéficiant d'un grand nombre de références.

Critère 2 – Retour du charbon actif dans les boues biologiques :

- Procédé n'utilisant pas de charbon actif. Le procédé est compatible avec la filière de compostage des boues.

Critère 3 – Adéquation du procédé avec l'effluent :

- Procédé non adéquat avec l'effluent de la STEP d'ODIVEA (possibilité de création de sous-produits indésirables). En effet, la présence de Bromure, Chrome (et NDMA ou N-Nitrosodiméthylamine dans une moindre mesure) en entrée du traitement quaternaire entrainerait la formation de sous-produit d'oxydation présentant une toxicité élevée (Bromates, Chromates).
  Les concentrations en Bromure retrouvées dans l'eau en entrée du futur traitement quaternaire sont au-dessus des valeurs limites de compatibilité avec un procédé d'oxydation recommandées en Suisse (VSA ou Association suisse des professionnels de la protection des eaux) :
  - Bromure : 0.4 mg/l en moyenne et **0.6 mg/l** en maximum en entrée du futur quaternaire. Valeur limite de comptabilité avec procédé d'ozonation à **0.1 mg/l**.

  Ces fortes concentrations en Bromure rendent incompatible la mise en œuvre d'un procédé ozonation.

Critères 4 et 5 : Couts (CAPEX et OPEX) :

- Procédé peu économique au niveau de l'investissement.
- Procédé intéressant au niveau des coûts d'exploitation.

Critère 6 : Appel d'offres attractif et ouverture fournisseurs :

- Procédé non breveté. Dimensionnement dans le domaine public.
- Un grand nombre de fournisseurs est capable de répondre : Degrémont, OTV, Sources, Stéreau, Techfina, Sogea, Wabag

F- Références

Ce procédé a été mis en œuvre pour le traitement des micropolluants sur de nombreuses stations d'épuration en Suisse et en Allemagne depuis environ 10 ans.

Une liste de références non exhaustive est présentée ci-dessous :

- Références Suisse :
  - STEP de Reinach, Mise en service 2016
  - STEP de Werdhölzli, Mise en service 2018
  - STEP de Bassersdorf, Mise en service 2018
  - STEP de Porrentruy, Mise en service 2020
  - STEP de Morgental (+Hofen), Mise en service 2021
  - STEP de Furthof (Buchs ZH), Mise en service 2021
  - STEP de Lützelmurgtal (Aadorf), Mise en service 2021

- Références France :
  - STEP de Sophia Antipolis, Mise en service 2012, Ozonation (1 file) sans filtration sur sables

Une référence spécifique est présentée ci-dessous :

- Références Suisse :
  - **STEP de Neugut, Mise en service 2014, capacité max 2'376 m³/h**



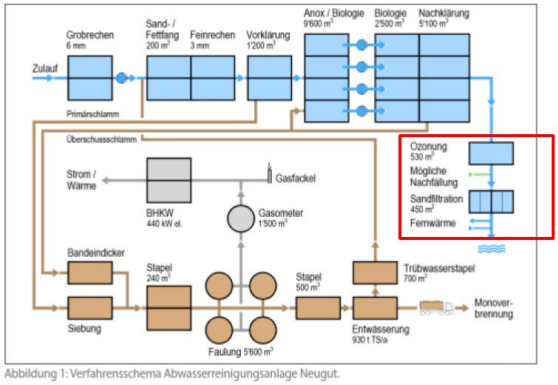


Abbildung 1: Verfahrensschema Abwasserreinigungsanlage Neugut.

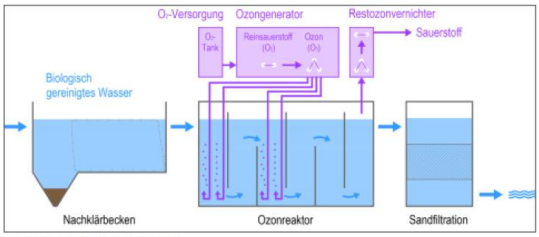


Abbildung 2: Schema der Ozonung.

Figure 39 : Référence d'installation de traitement des micropolluants par Ozonation

G- Mutualisation du procédé de traitement des micropolluants avec le traitement des microplastiques et des métaux lourds

Nous avons également analysé la mutualisation de ce procédé avec les objectifs de traitement des autres polluants envisagés sur la STEP Odivea.
Le procédé d'Ozonation a très peu d'effet sur l'élimination des métaux lourds par contre la filtration à sables permettrait une bonne rétention complémentaire des microplastiques.

H- Conclusion

La présence de Bromure, Chrome (et NDMA N-Nitrosodiméthylamine dans une moindre mesure) en entrée du traitement quaternaire entrainerait la formation de sous-produit d'oxydation présentant une toxicité élevée (Bromates, Chromates) (cf. critère 3).

Ces fortes concentrations en Bromure rendent incompatible la mise en œuvre d'un procédé ozonation.

De plus, la station ne présente pas de de filtration sur sable déjà installée. La mise en œuvre de cette étape impliquerait un cout d'investissement élevé.

Ce procédé n'est pas envisageable pour la STEP de Dijon ODIVEA (car formation de sous-produits dangereux). Cette solution n'est pas retenue.

3.5.11 Procédé combiné Traitement par Ozonation + Charbon Actif en Poudre + Filtres à sables **Procédé 9**

A- Principe

Ce procédé correspond à une combinaison des procédés par ozonation et par charbon actif en poudre. Il permet de combiner les effets de ces deux technologies de traitement des micropolluants.

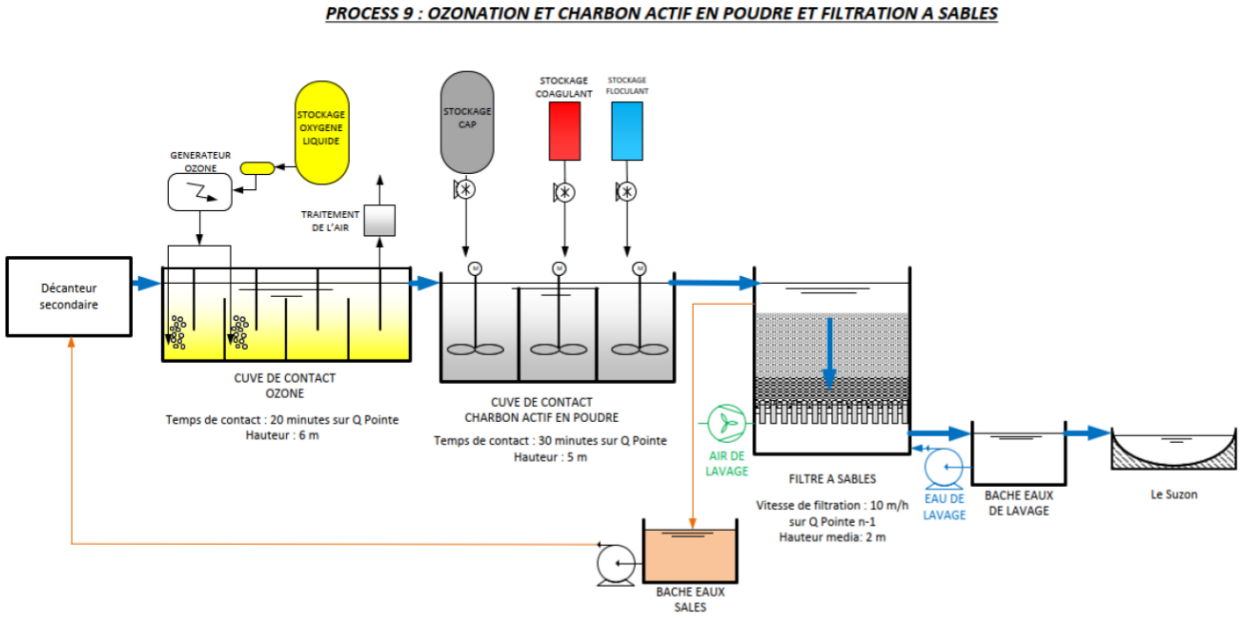


Figure 40 : Schéma de la filière de traitement des micropolluants combinée ozonation et CAP

B- Dimensionnement de la filière combinée ozone + CAP

Le tableau ci-dessous présente le dimensionnement ozone + CAP

PROCESS 9 : OZONNATION + CHARBON ACTIF EN POUDRE + FILTRATION SUR SABLES			
	Unité	V1	V2
Données d'entrée			
Débit de pointe	m^3/h	5'200	3'000
Cuve de contact ozone			
Temps de contact sur Q pointe	min	20	20
Hauteur cuve	m	6	6
Nombre de file	u	*1*	*1*
Volume de cuve par file	m^3	1'733	1'000
Surface de cuve par file	m^2	289	167
Cuve de contact CAP			
Temps de contact sur Q pointe	min	30	30
Hauteur cuve	m	5	5
Volume total de cuve	m^3	2'600	1'500
Surface totale de cuve	m^2	520	300
Cuve de Coagulation			
Temps de contact sur Q pointe	min	3	3
Hauteur cuve	m	5	5
Volume total de cuve	m^3	260	150
Surface totale de cuve	m^2	52	30
Cuve de Floculation			
Temps de contact sur Q pointe	min	5	5
Hauteur cuve	m	5	5
Volume total de cuve	m^3	433	250
Surface totale de cuve	m^2	87	50
Filtre sur sables			
Vitesse de filtration à N-1 filtre	m/h	10	10
Hauteur média	m	2	2
Surface totale de filtration à N-1 filtre	m^2	520	300
Volume total de filtration	m^3	1'040	600
Surface des ouvrages hydrauliques	m^2	1'468	847
Coefficient d'emprise au sol		1.5	1.5
Emprise au sol totale des installations	m^2	**2'201**	**1'270**
Bleu : données de dimensionnement issues de la littérature			
Italique : proposition de dimensionnement, à affiner par la suite si la filière est retenue			

Figure 41 : Dimensionnement de la filière de traitement des micropolluants par ozone + CAP

La surface nécessaire pour ces installations est 2'200 m^2 pour la variante V1 (débit à traiter de 5'200 m^3/h) et de 1'300 m^2 pour la variante V2 (débit à traiter de 3'000 m^3/h), ce qui est compatible avec la surface disponible.

C- Analyse de la mise en œuvre de procédé sur la Step EauVitale de Dijon

Nous avons analysé la mise en œuvre de ce procédé suivant les critères d'évaluation proposés par Odivea.

Critère 1 – Robustesse du procédé et simplicité d'exploitation :

- Procédés combinés permettant une grande flexibilité d'exploitation et une meilleure garantie de traitement.
- Procédé complexe en gestion d'exploitation du fait de la présence de deux procédés différents.

Critère 2 – Retour du charbon actif dans les boues biologiques :

- Production produisant des boues avec CAP renvoyées dans la biologie. Inconvénient avec filière de compostage compte tenu du risque de pollution des boues évacuées de la STEP. En effet, bien que la co-incinération en UVE soit la filière d'élimination des boues projetée pour la STEP d'Odivea, la compatibilité des boues avec filière de secours réglementaire, le compostage pour la STEP d'Odivea, doit tout de même être assurée.

Critère 3 – Adéquation du procédé avec l'effluent :

- Le procédé étant un combiné, le dosage d'ozone est réduit. Le risque de formation de sous-produits indésirables est réduit mais n'est toutefois pas supprimé.

Critères 4 et 5 : Couts (CAPEX et OPEX) :

- Procédé volumineux, avec des coûts d'investissement élevés et exploitation contraignante (double système).

Critère 6 : Appel d'offres attractif et ouverture fournisseurs :

- Procédé non breveté. Dimensionnement dans le domaine public.
- Un grand nombre de fournisseurs est capable de répondre : Degrémont, OTV, Sources, Stéreau, Techfina, Sogea, Wabag

D- Références

Il existe peu de référence pour cette combinaison de procédés. Actuellement, la Step de Pro Rheno (BS) est en cours de construction.

E- Mutualisation du procédé de traitement des micropolluants avec le traitement des microplastiques et des métaux lourds

Nous avons également analysé la mutualisation de ce procédé avec les objectifs de traitement des autres polluants envisagés sur la STEP Odivea.

Ce procédé peut s'avérer intéressant pour l'élimination des métaux lourds et pour l'élimination pour les microplastiques (via filtre à sables).

F- Conclusion

Ce procédé n'est pas envisageable pour la STEP de Dijon ODIVEA du fait du coût d'investissement élevé (en dehors de l'enveloppe CAPEX). Le risque de formation de sous-produits indésirables, ainsi que la production de boues chargées de CAP renvoyées dans la biologie (process 9) font que cette solution n'est pas retenue.

3.5.12 Procédé combiné Traitement par Ozonation + Charbon Actif en Grain **Procédé 10**

A- Principe

Ce procédé correspond à une combinaison des procédés par ozonation et par charbon actif en grain. Il permet de combiner les effets de ces deux technologies de traitement des micropolluants.

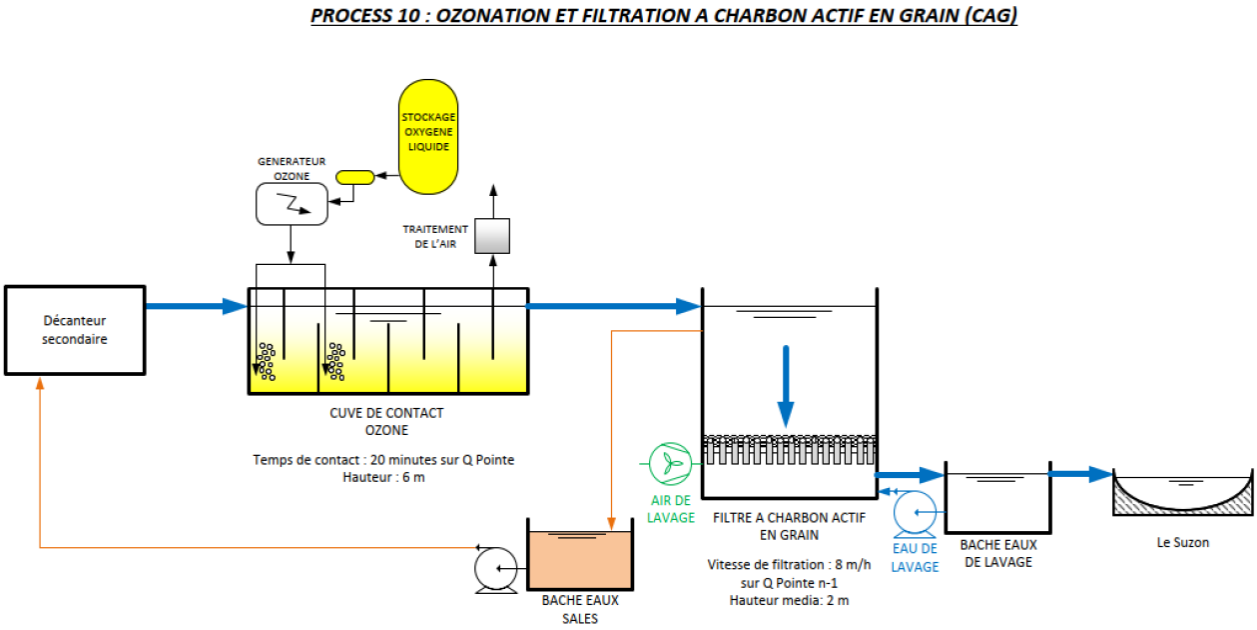


Figure 42 : Schéma de la filière de traitement des micropolluants combinée ozonation et CAG

B- Dimensionnement de la filière combinée ozone + CAG

Le tableau ci-dessous présente le dimensionnement ozone + CAG.

PROCESS 10 : OZONNATION + CHARBON ACTIF EN GRAIN			
	Unité	V1	V2
Données d'entrée			
Débit de pointe	m^3/h	5'200	3'000
Cuve de contact ozone			
Temps de contact sur Q pointe	min	20	20
Hauteur cuve	m	6	6
Nombre de file	u	*1*	*1*
Volume de cuve par file	m^3	1'733	1'000
Surface de cuve par file	m^2	289	167
Charbon actif en grain			
Temps de contact hydraulique à N-1 filtres	min	20	20
Volume CAG requis	m^3	1'733	1'000
Vitesse de filtration min sur débit de pointe à N-1 filtre	m/h	4	4
Surface totale max de filtration à N-1 filtre	m^2	1'300	750
Vitesse de filtration max sur débit de pointe à N-1 filtre	m/h	8	8
Surface totale min de filtration à N-1 filtre	m^2	650	375
Surface totale choisie	m^2	*975*	*563*
Longueur d'une cellule	m	*10*	*10*
Largeur d'une cellule	m	*5.5*	*5.5*
Ratio longueur / largeur		*1.8*	*1.8*
Surface d'une cellule	m^2	*55*	*55*
Nombre N de cellule	u	*18*	*10*
Hauteur média	m	2	2
Volume de média par cellule	m^3	*109*	*109*
Volume de média total	m^3	*1'950*	*1'125*
Surface des ouvrages hydrauliques	m^2	1'264	729
Coefficient d'emprise au sol		1.5	1.5
Emprise au sol totale des installations	**m^2**	**1'896**	**1'094**
Bleu : données de dimensionnement issues de la littérature			
Italique : proposition de dimensionnement, à affiner par la suite si la filière est retenue			

Figure 43 : Dimensionnement de la filière de traitement des micropolluants par ozone + CAG

La surface nécessaire pour ces installations est 1'900 m^2 pour la variante V1 (débit à traiter de 5'200 m^3/h) et de 1'100 m^2 pour la variante V2 (débit à traiter de 3'000 m^3/h), ce qui est compatible avec la surface disponible.

C- Analyse de la mise en œuvre de procédé sur la Step EauVitale de Dijon

Nous avons analysé la mise en œuvre de ce procédé suivant les critères d'évaluation proposés par Odivea.

Critère 1 – Robustesse du procédé et simplicité d'exploitation :

- Procédés combinés permettant une grande flexibilité d'exploitation et une meilleure garantie de traitement.
- Procédé complexe en gestion d'exploitation du fait de la présence de deux procédés différents.

Critère 2 – Retour du charbon actif dans les boues biologiques :

- Procédé ne produisant pas de boues chargées de charbon actif. Le procédé est compatible avec la filière de compostage des boues.

Critère 3 – Adéquation du procédé avec l'effluent :

- Le procédé étant un combiné, le dosage d'ozone est réduit. Le risque de formation de sous-produits indésirables est réduit mais n'est toutefois pas supprimé.

Critères 4 et 5 : Couts (CAPEX et OPEX) :

- Procédé volumineux, avec des coûts d'investissement élevés et exploitation contraignante (double système).

Critère 6 : Appel d'offres attractif et ouverture fournisseurs :

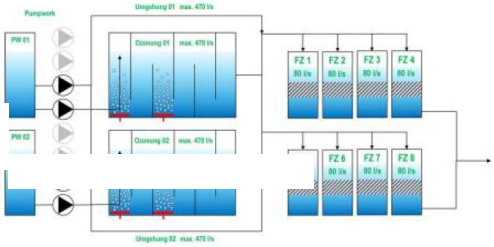
- Procédé non breveté. Dimensionnement dans le domaine public.
- Un grand nombre de fournisseurs est capable de répondre : Degrémont, OTV, Sources, Stéreau, Techfina, Sogea, Wabag

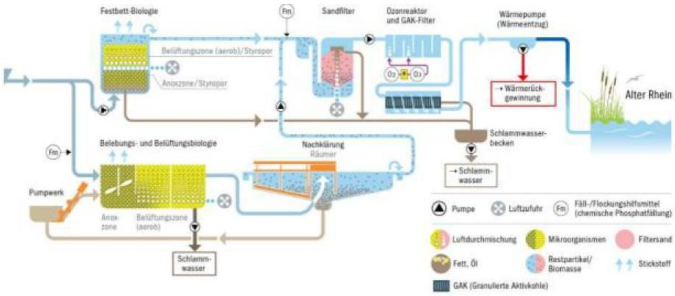
D- Références

Il existe peu de référence pour cette combinaison de procédés. Actuellement, uniquement la Step d'Altenrhein a été réalisée.

+ Références :
  - STEP d'Altenrhein, mise en service 2019, O3 + filtres à CAG
    - Capacité de l'ozonation : 3'384 m³/h (2 files de 1'692 m³/h unitaire)
    - Capacité du filtre : 1'638 m³/h (7 x 234 m3/h, plus 1 en réserve)







E- Mutualisation du procédé de traitement des micropolluants avec le traitement des microplastiques et des métaux lourds

Nous avons également analysé la mutualisation de ce procédé avec les objectifs de traitement des autres polluants envisagés sur la STEP Odivea.

Ce procédé pouvant s'avérer intéressant pour l'élimination des métaux lourds et pour l'élimination pour les microplastiques (via filtre à sables).

F- Conclusion

Ce procédé n'est pas envisageable pour la STEP de Dijon ODIVEA du fait du coût d'investissement élevé (en dehors de l'enveloppe CAPEX). Le risque de formation de sous-produits indésirables fait que cette solution n'est pas retenue.

3.6 Traitement des micropolluants : Analyse multicritère

Nous avons réalisé une analyse multicritère des différentes filières de traitement des micropolluants suivant les critères ci-après :

- Critère 1 : Robustesse du procédé (références, retours d'expérience) et simplicité d'exploitation
- Critère 2 : Retour du charbon actif dans les boues biologiques
- Critère 3 : Adéquation du procédé avec l'effluent
- Critère 4 : Couts d'investissement CAPEX
- Critère 5 : Couts d'exploitation OPEX
- Critère 6 : Appel d'offre attractif et ouverture aux fournisseurs
- Critère 7 : Régénération du Charbon Actif
- Critère 8 : Mutualisation pour l'abattement des métaux lourds et des microplastiques
- Critère 9 : Emprise des installations

Le tableau présente ci-dessous l'étude multicritère pour les procédés :

- **Procédé 01 bis :** Procédé Ulmer Charbon Actif en Poudre + Décantation classique (ou décantation lamellaire) + Filtre à sables (ou Filtres à disques/peluches) avec filière de traitement des boues pour les boues du traitement des micropolluants
- **Procédé 02 bis :** Charbon Actif en Poudre et Décantation lamellaire avec lit de boues (Pulsagreen) + Filtre à sables (ou Filtres à disques/peluches) avec filière de traitement des boues pour les boues du traitement des micropolluants
- **Procédé 03 bis :** Charbon Actif en Poudre + Filtre à sables (AktiFilt) avec filière de traitement des boues pour les boues du traitement des micropolluants
- **Procédé 04** : Charbon Actif en Poudre dosé directement dans le traitement biologique (boues activées) + Filtre à sables
- **Procédé 06** : Charbon Actif en Micro Grain
- **Procédé 07 :** Charbon Actif en Grain à flux descendant
- **Procédé 07 bis**
- **Procédé 08** : Ozonation + Filtre à sables

NOTA :

- **Les procédés 01** (Ulmer Charbon Actif en Poudre + Décantation + Filtration), **02** (Charbon Actif en Poudre et Décantation lamellaire avec lit de boues Pulsagreen + Filtration) et **03** (AktiFilt Charbon Actif en Poudre + Filtration) n'ont pas été considérés dans l'analyse multicritère du fait de la production de boues chargées en charbon actif retournées dans les boues biologiques (solutions non compatibles avec le compostage des boues). + procédé 04
- **Le procédé 05** (dosage de CAP dans le traitement biologique et filtration membranaire) n'a pas été considéré dans l'analyse multicritère car ce procédé n'est pas compatible avec l'étape de décantation secondaire de la STEP existante (pas de filtration membranaire existante sur la STEP).
- **Procédé 08**
- **Les procédés combinés (procédés 09 et 10)** n'ont pas été considérés dans l'analyse multicritère pour des raisons de couts d'investissements CAPEX.

	Charbon actif en poudre				Charbon actif en grain et micro-grain		Ozonation
	Process 1 bis	Process 2 bis	Process 3 bis	Process 4	Process 6	Process 7	Process 8
	Procédé ULMER (Charbon actif en poudre - Décantation - Filtration) **+ Filière boues**	**Procédé PULSAGREEN** (Charbon actif en poudre - Décantation intégrée - Filtration) **+ Filière boues**	**Procédé AKTIFILT** (Charbon actif en poudre + Filtration) **+ Filière boues**	**Dosage CAP dans biologie + filtration sur sable**	**Charbon actif micro-grain (Micro CAG)**	**Charbon actif en grain CAG**	**Ozonation + filtre à sable**
Critère 1 : Robustesse du procédé (référence, retour d'expérience) et simplicité d'exploitation	Procédé robuste. Filière constituée d'un plus grand nombre d'étapes de traitement, ce qui complexifie son exploitation.	Procédé robuste mais peu répandu en traitement de l'eau usée. Filière constituée d'un plus grand nombre d'étapes de traitement, ce qui complexifie son exploitation.	Procédé robuste. Filière constituée d'un plus grand nombre d'étapes de traitement, ce qui complexifie son exploitation.	Procédé robuste	Procédé robuste	Procédé robuste	Procédé robuste
Critère 2 : Retour du charbon actif dans les boues biologiques	Filière spécifique de traitement des boues quaternaires pour éviter les retours de charbon actif dans les boues biologiques. Procédé compatible avec filière compostage	Filière spécifique de traitement des boues quaternaires pour éviter les retours de charbon actif dans les boues biologiques. Procédé compatible avec filière compostage	Filière spécifique de traitement des boues quaternaires pour éviter les retours de charbon actif dans les boues biologiques. Procédé compatible avec filière compostage	Production de boues biologiques chargées en CAP. Procédé non compatible avec filière de compostage. **--> Solution non retenue**	Compatible avec filière compostage	Compatible avec filière compostage	Compatible avec filière compostage
Critère 3 : Adéquation du procédé avec l'effluent	Procédé adéquat avec l'effluent de la STEP d'ODIVEA	Procédé adéquat avec l'effluent de la STEP d'ODIVEA	Procédé adéquat avec l'effluent de la STEP d'ODIVEA	Procédé adéquat avec l'effluent de la STEP d'ODIVEA	Procédé adéquat avec l'effluent de la STEP d'ODIVEA	Procédé adéquat avec l'effluent de la STEP d'ODIVEA	Procédé non adéquat avec l'effluent de la STEP d'ODIVEA (risque de production de sous-produits indésirables) **--> Solution non retenue**
Critère 4 : Couts d'investissement - CAPEX	**+ + +**	**+ +**	**+ + +**	**- -**	**+**	**+**	**+**
Critère 5 : Coûts d'exploitation - OPEX	**+ +**	**+ +**	**+ + +**	**+ +**	**-**	**-**	**- -**
Critère 6 : Appel d'offre attractif et ouverture aux fournisseurs	Procédé non breveté, un grand nombre de fournisseur est capable de répondre à l'AO	Procédé breveté. Limitation de la concurrence	Procédé non breveté, un grand nombre de fournisseur est capable de répondre à l'AO	Procédé non breveté, un grand nombre de fournisseur est capable de répondre à l'AO	Procédé breveté. Limitation de la concurrence	Procédé non breveté, un grand nombre de fournisseur est capable de répondre à l'AO	Procédé non breveté, un grand nombre de fournisseur est capable de répondre à l'AO
Critère 7 : Régénération du CAG (Spécificité charbon actif)	Charbon actif non régénérable	Charbon actif non régénérable	Charbon actif non régénérable	Charbon actif non régénérable	Possible (en fonction des charbons)	Charbon actif régénérable	S.O.
Critère 8 : Mutualisation pour l'abattement des autres polluants :							
Mutualisation pour l'abattement des métaux lourds	Mutualisation possible (coag-floc + filtration)	Mutualisation possible (coag-floc + filtration)	Mutualisation possible (coag-floc + filtration)	Procédé seul peu intéressant pour l'élimination des métaux lourds. Nécessité d'ajouter une coag-floc + filtration en sortie de traitement	Peu intéressant pour l'élimination des métaux lourds	Mutualisation possible en ajouter une coag-floc en amont. Le CAG sert de filtration	Peu intéressant pour l'élimination des métaux lourds
Mutualisation pour l'abattement des microplastiques	Mutualisation possible grâce au filtre en dernière étape de traitement	Mutualisation possible grâce au filtre en dernière étape de traitement	Mutualisation possible grâce au filtre en dernière étape de traitement	Mutualisation possible grâce au filtre en dernière étape de traitement	Peu intéressant pour l'élimination des microplastiques (faible pouvoir filtrant)	Mutualisation possible (bon pouvoir filtrant du CAG)	Mutualisation possible grâce au filtre en dernière étape de traitement
Critère 9 : Emprise des installations	Procédé extensif (1'200 - 2'100 m2)	Procédé compact (900 - 1'500 m2)	Procédé extensif (1'100 - 2'000 m2)	Procédé très compact (450 - 800 m2)	Procédé très compact (400 - 700 m2)	Procédé assez compact (1'100 - 2'000 m2)	Procédé compact (700 - 1'200 m2)

Figure 44 : Analyse multicritère des procédés de traitement des micropolluants

A la suite de cette analyse multicritère les deux filières de traitement des micropolluants qui semblent les plus pertinentes sont :

<u>Process 02bis</u> : CAP PULSAGREEN avec filière de traitement des boues quaternaires

- Il s'agit du procédé le plus économique en investissement par rapport aux autres procédés mettant en œuvre du CAP
- Ce procédé est rendu compatible avec le compostage des boues grâce à la mise œuvre d'un traitement des boues spécifique.
- Ce procédé est facilement mutualisable pour l'élimination des métaux lourds et des microplastiques grâce à la présence des étapes de coagulation – floculation et décantation intégrées au procédé.

NOTA : La solution du procédé Pulsagreen avait été proposée par SUEZ dans le contrat ODIVEA de 2019. Nous avons adapté cette solution en prenant en compte des retours d'expérience acquis depuis cette période (2019) (filtration rétention des fines CAP en aval et filière de traitement des boues spécifique).

<u>Process 07</u> : CAG à flux descendant

- Il s'agit d'un procédé compact et économique en investissement (malgré la prise en compte de la première charge en Charbon Actif en Grain) et en couts d'exploitation.
- Ce procédé ne produit pas de boues chargées en CAP retournée en filière biologique. Cette filière est donc compatible avec le compostage des boues.
- Ce procédé est non breveté. Plusieurs fournisseurs auraient la capacité de répondre à l'appel d'offre.
- Il s'agit d'un procédé mutualisable pour l'élimination des métaux lourds et des microplastiques grâce au bon pouvoir filtrant des filtres.

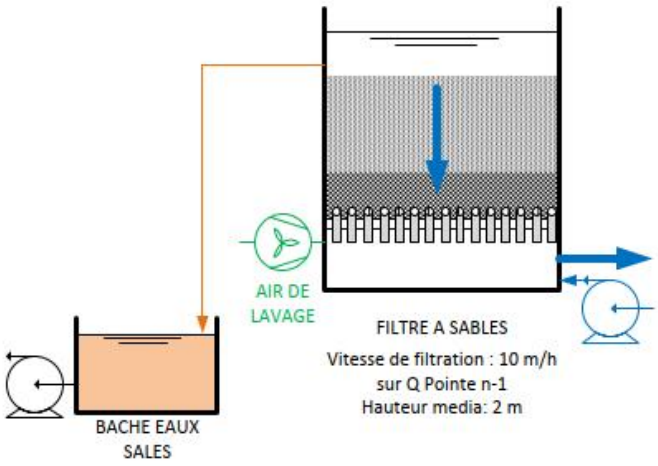
Nous proposons de retenir ces deux procédés 2bis et 07 pour l'étude de la filière globale de traitement des micropolluants, métaux lourds et microplastiques.

3.7 Traitement des microplastiques

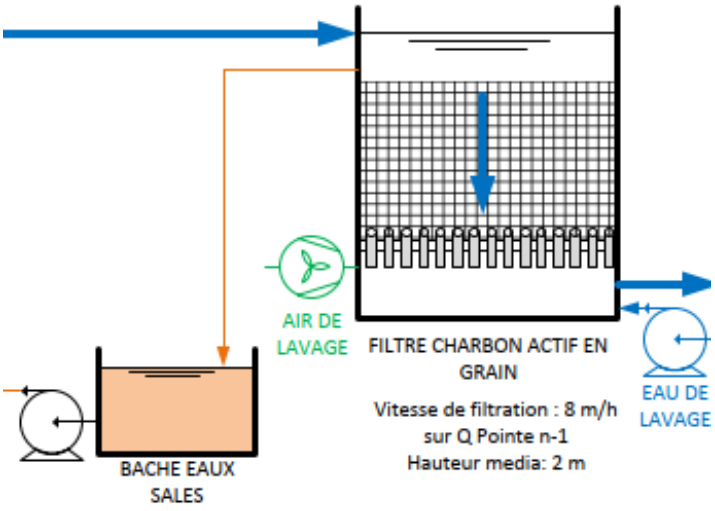
3.7.1 Introduction

Dans l'étude du traitement des microplastiques, nous avons envisagé les procédés de filtration suivants :

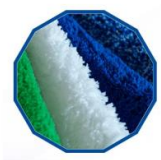
- Filtration à sables



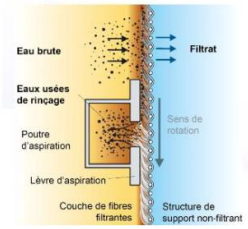
- Filtration CAG à flux descendant



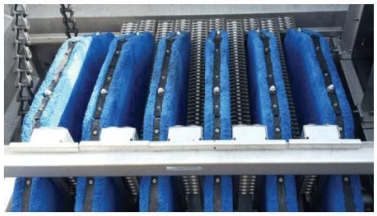
- Filtration sur peluche (filtre MECANA)



Photographie média filtrant
Source MECANA



Fonctionnement filtration sur peluche
Source MECANA



Photographie filtre sur peluche MECANA – *South West Water*

- Filtration à disque (exemple : filtre à disque Nordic Water)

DynaCloth - Nordic Water



3.7.2 Analyse comparative des technologies

Nous avons comparé ces différentes technologies suivant une analyse présentée ci-dessous :

	Filtre à sables	Filtre CAG	Filtre sur peluche ou à disques
Critère : Robustesse du procédé et simplicité d'exploitation	+ +	+ +	+
Critère : Coût d'investissement	-	-	+
Critère : Performance	+ +	+ +	+
Critère : Emprise au sol	+	+	+ +

Figure 45 : Analyse comparative des technologies de traitement des microplastiques

3.7.3 Conclusion

La STEP actuelle élimine déjà une grande partie des microplastiques (entre 87% et 99.8%). Il ne devrait pas y avoir besoin d'une étape de filtration très performante pour abattre la part de microplastiques restante, un filtre sur peluche ou à disque devrait être suffisant.

Une filtration CAG permettrait de mutualiser traitement des micropolluants et traitement des microplastiques, et ainsi être une solution économe.

Conclusion : il est préconisé la mise en œuvre d'un filtre sur peluche ou à disques ou d'un filtre CAG qui servirait également au traitement des micropolluants.

3.8 Traitement des métaux lourds

3.8.1 Introduction

Dans l'étude du traitement des métaux lourds, nous avons envisagé les procédés de filtration suivants :

- **Procédé 1 :** Traitement physicochimique par coagulation (floculation optionnelle) avec injection de $FeCl_3$ (Polymère optionnel) + filtration (à pH élevé : 9 - 10). Ce procédé peut être mutualisé pour l'élimination des autres polluants. **Ce procédé est recommandé pour la STEP d'ODIVEA.**
- **Procédé 2 :** Décarbonatation à la chaux + filtration (à pH élevé : 9 - 10). Ce procédé est principalement mis en œuvre en eau potable. Ce procédé n'est pas recommandé en eaux usées pour la STEP d'ODIVEA.
- **Procédé 3 :** Système de traitement membranaire : nano filtration. Ce procédé est performant mais nécessite des couts d'investissements très élevés. Par conséquent, ce procédé n'est pas recommandé pour la STEP d'ODIVEA.
- **Procédé 4 :** Résine échangeuse d'ions. Ce procédé est performant mais nécessite des couts d'investissements très élevés. Par conséquent ce procédé n'est pas recommandé pour la STEP d'ODIVEA.
- **Procédé 5** : Électrocoagulation. Ce procédé est performant mais nécessite des couts d'investissements très élevés. Par conséquent ce procédé n'est pas recommandé pour la STEP d'ODIVEA.
- **Procédé 6** : Charbon Actif Grain. A la suite aux contacts pris avec Dolder (fournisseur de charbon actif), le CAG ne permettrait pas, à lui seul, d'abattre de manière significative les métaux lourds. Ce procédé seul n'est pas recommandé pour la STEP d'ODIVEA.

3.8.2 Conclusion

La filière de traitement des métaux lourds recommandée est :

- **Process 1 :** Traitement physicochimique par coagulation (floculation optionnelle) avec injection de $FeCl_3$ (et polymère en option) + filtration (à pH élevé : 9 – 10).

4 Filière de traitement globale : micropolluants + métaux lourds + microplastiques (Phase 2)

4.1 Introduction

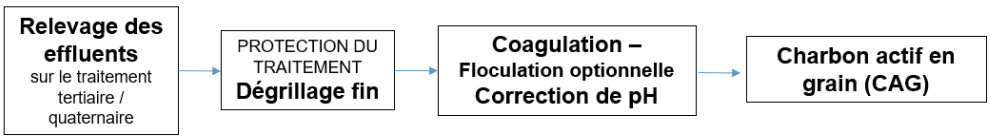
Les filières d'ozonation (seules ou combinées) n'ont pas été retenues pour la suite de l'étude car elles sont inadaptées à la nature des effluents de Dijon qui contiennent notamment des bromures avec le risque de production de sous-produits indésirables et encore plus néfastes pour l'environnement.

Les filières CAP sans étape de traitement spécifique des boues quaternaires n'ont pas été retenues compte tenu du devenir des boues (compostage en tant que filière de secours à l'incinération en UVE) afin d'éviter le risque de relargage des micropolluants dans le sol après épandage du compost.

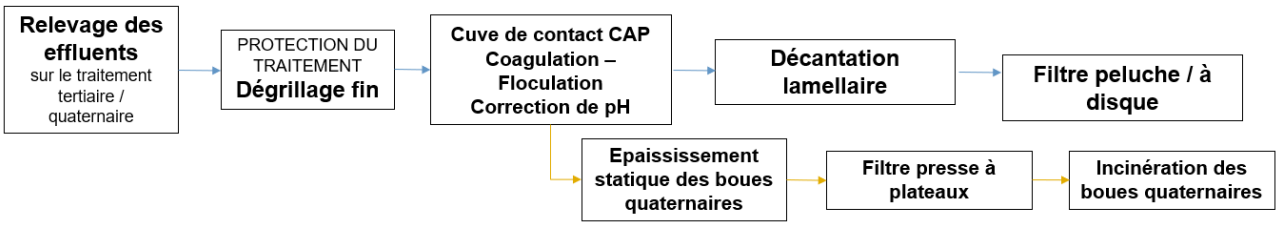
A partir des études de filières spécifiques pour le traitement de chaque paramètre, nous avons élaboré deux filières de traitement globales :

Deux filières de traitement pertinentes se dégagent des autres à la suite de l'analyse multicritère :

- **Solution 1 : Coagulation (Floculation optionnelle) + Process 7 Filtre CAG**



- **Solution 2 : Process 2bis Pulsagreen + Filtre peluche/à disques + Filière boues quaternaires**



Nota : si les ouvrages de traitement des micropolluants, microplastiques et métaux lourds sont enterrés alors le poste de relevage serait optionnel.

4.2 **Solution 1** : Coagulation (floculation optionnelle) – Correction de pH et filtre Charbon Actif en Grain

Pour cette filière, les étapes de traitement sont les suivantes :

- Traitement des micropolluants : CAG
- Traitement métaux lourds : Coagulation – floculation (optionnelle) + CAG
- Traitement des microplastiques : pouvoir filtrant du CAG
- Correction du pH en sortie pour le rabaisser autour de 7

Nota : la floculation est optionnelle car, bien qu'elle permettrait d'améliorer l'abattement des métaux lourds, elle risque d'encrasser de manière importante les filtres CAG à l'aval.

Le schéma ci-dessous présente la filière globale **Solution 1 :** Coagulation (floculation optionnelle) – correction de pH et filtre Charbon Actif en Grain

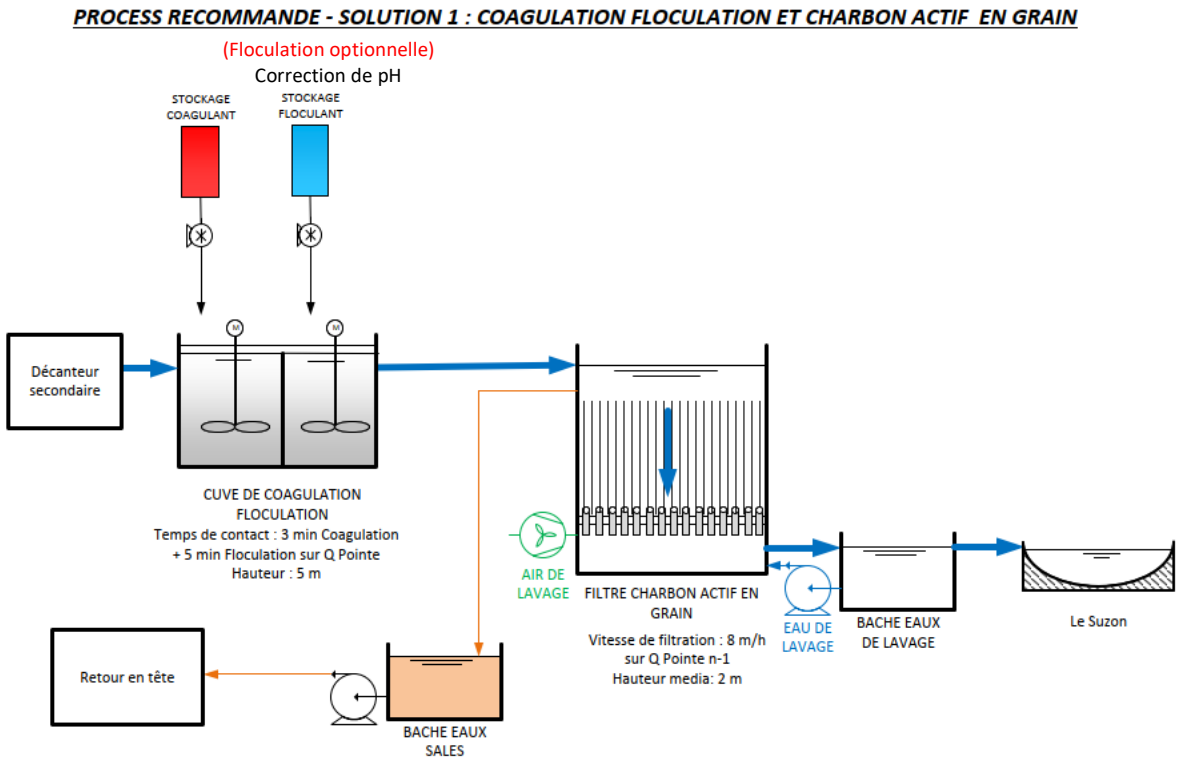


Figure 46 : Solution 01 - filière traitement globale (Coagulation – Floculation et correction de pH et CAG)

4.3 **Solution 2** : Pulsagreen + Filtre + Filière boues quaternaires

Pour cette filière, les étapes de traitement sont les suivantes :

- Traitement des micropolluants : CAP + coagulation/floculation + filtre
- Traitement des boues quaternaires : épaississement statique + filtre presse
- Traitement métaux lourds : coagulation – floculation avec correction du pH + filtre
- Traitement des microplastiques : filtre
- La coagulation – floculation suivi de la décantation lamellaire permet de protéger le filtre et d'améliorer ainsi les performances et limiter les couts d'exploitation
- Correction du pH en sortie pour le rabaisser autour de 7

Le schéma ci-dessous présente la filière globale **Solution 2 :** Pulsagreen + Filtre + Filière boues quaternaires.

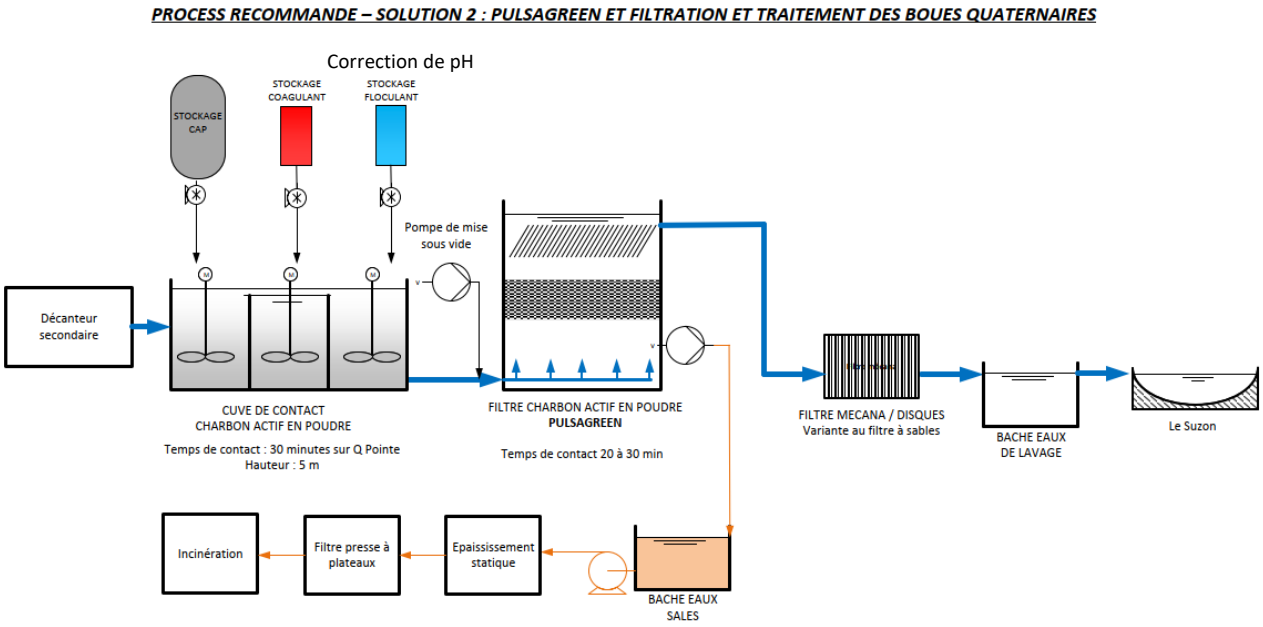


Figure 47 : Solution 02 - filière traitement globale (Pulsagreen, filtration et traitement des boues quaternaires)

5 Estimation des couts d'investissement et d'exploitation pour les deux filières globales de traitement des micropolluants + microplastiques + métaux lourds (phase 2)

5.1 Introduction

Pour les deux filières solution 01 et 02 de traitement global retenues, nous avons estimé les couts d'investissement et les couts d'exploitation pour les deux variantes V1 et V2 **à +/- 25 % et à partir de ratios issus d'affaires équivalentes**.

5.2 Couts d'investissement ou CAPEX

Les couts d'investissement ou CAPEX ont été estimés et sont présentés ci-dessous :

Solution 1 : CAG
Coagulation (floculation optionnelle) – Filtres CAG

Solution 2 : CAP
Pulsagreen – Filtre tambour – Filière boues

	CAPEX à +/- 25 %			
	CAG (Coagulation - Floculation - Filtres CAG)		CAP (Pulsazur - Filtre tambour - Filière boue)	
	V1	V2	V1	V2
Estimation	**14 600 000 €**	**8 500 000 €**	**16 200 000 €**	**9 400 000 €**
Fourchette basse	11 680 000 €	6 800 000 €	12 960 000 €	7 520 000 €
Fourchette hausse	17 520 000 €	10 200 000 €	19 440 000 €	11 280 000 €

Conclusion : La filière **solution 01** Charbon Actif en Grain, incluant la première charge en charbon actif, se révèle moins onéreuse qu'une filière **solution 02** Charbon Actif en Poudre comprenant une étape finale de filtration et une filière spécifique de gestion des boues.

5.3 Couts d'exploitation ou OPEX

Les hypothèses suivantes ont été considérées pour le calcul des couts d'exploitation :

- V1 - Tout temps confondus en moyenne journalière : 50 269 m^3/j
- V2 - Temps sec (0 mm/j) en moyenne journalière : 39 746 m^3/j

Nota : les débits considérés sont issus de l'analyse statistique de Suez Consulting sur les 5 dernières années (2018 – 2022), onglet *« Analyse TS fct des pluie (Qj)»)* . Il a été pris en considération des débits journaliers moyens plutôt que des débits de pointe journalier qui auraient entrainés une surévaluation des couts d'exploitation.

Nota : Les couts d'exploitation estimés ci-dessous ne prennent en compte que les couts liés au renouvellement du Charbon Actif neuf et non régénéré et ne prennent pas en compte les couts de réactifs et d'électricité qui ne sont pas significatifs en regard de ceux engendrés par le renouvellement Charbon Actif.

Pour la filière Charbon Actif en Grain Solution 01, les hypothèses suivantes ont été retenues :

Nota : le Bed Volum (BV) ou le volume de lit (VL) correspond au volume d'eaux usées traité (Veaux usées = Q · durée d'exploitation) par rapport au volume en lit vide filtrant (Vfiltre).

Solution 1 : CAG

Coagulation (floculation optionnelle) – Filtres CAG

	OPEX CAG - 3000 euros / T	
	V1 - TTC	V2 - TS
Volume CAG (m3)	1'925	1'125
Volume journalier moye	50'269	39'746
Bed Volume 27000		
Durée de vie (an)	2.8	2.1
Couts annuel	**815'475 €**	**644'768 €**
Bed Volume 22000		
Durée de vie (an)	2.3	1.7
Couts annuel	**1'000'810 €**	**791'307 €**
Bed Volume 13500		
Durée de vie (an)	1.4	1.0
Couts annuel	**1'630'950 €**	**1'289'537 €**

Pour la filière Charbon Actif en Poudre Solution 02, les hypothèses suivantes ont été retenues :

Nota : le dosage ou taux de traitement correspond au taux de traitement en Charbon Actif en Poudre par rapport au débit d'eaux usées à traiter.

Solution 2 : CAP

Pulsagreen – Filtre tambour – Filière boues

	OPEX CAP - 2500 euros / T	
	V1 - TTC	V2 - TS
Volume journalier moye	50'269	39'746
Dosage à 20 ppm		
Quantité moyenne (T/j)	1.0	0.8
Couts annuel	**917'409 €**	**725'365 €**
Dosage à 17,5 ppm		
Quantité moyenne (T/j)	0.9	0.7
Couts annuel	**802'733 €**	**634'694 €**
Dosage à 15 ppm		
Quantité moyenne (T/j)	0.8	0.6
Couts annuel	**688'057 €**	**544'023 €**

De façon résumée, les hypothèses prises en considération pour la projection des OPEX à court et long terme sont les suivantes :

Pour la solution 1 (Coagulation – Floculation optionnelle – CAG) :

- Un Bed Volum de 22'000, correspondant à un BV intermédiaire en l'absence de décantation à l'amont de la filtration CAG
- Un coût de CAG à 3'000 euros / Tonne

Pour la solution 2 (Pulsagreen – Filtre – Filière boues quaternaires) :

- Une consommation en CAP à 17.5 ppm ou mg CAP/ l eau traitée
- Un coût de CAP à 2'500 euros / Tonne

Le tableau ci-dessous présente l'évolution des couts d'exploitation à long terme pour la variante V1 et la variante V2 :

V1 : TTC à 50 269 m³/j

	V1					
	CAG			CAP		
	CAPEX	OPEX CA	TOTAL	CAPEX	OPEX CA	TOTAL
2028	14'600'000 €	- €	14'600'000 €	16'200'000 €	- €	16'200'000 €
2029	- €	1'001'000 €	15'601'000 €	- €	803'000 €	17'003'000 €
2030	- €	1'001'000 €	16'602'000 €	- €	803'000 €	17'806'000 €
2031	- €	1'001'000 €	17'603'000 €	- €	803'000 €	18'609'000 €
2032	- €	1'001'000 €	18'604'000 €	- €	803'000 €	19'412'000 €
2033	- €	1'001'000 €	19'605'000 €	- €	803'000 €	20'215'000 €
2034	- €	1'001'000 €	20'606'000 €	- €	803'000 €	21'018'000 €
2035	- €	1'001'000 €	21'607'000 €	- €	803'000 €	21'821'000 €
2036	- €	1'001'000 €	22'608'000 €	- €	803'000 €	22'624'000 €
2037	- €	1'001'000 €	23'609'000 €	- €	803'000 €	23'427'000 €
2038	- €	1'001'000 €	24'610'000 €	- €	803'000 €	24'230'000 €
2039	- €	1'001'000 €	25'611'000 €	- €	803'000 €	25'033'000 €
2040	- €	1'001'000 €	26'612'000 €	- €	803'000 €	25'836'000 €

V2 : TS à 39 746 m³/j

	V2					
	CAG			CAP		
	CAPEX	OPEX CA	TOTAL	CAPEX	OPEX CA	TOTAL
2028	8'500'000 €	- €	8'500'000 €	9'400'000 €	- €	9'400'000 €
2029	- €	792'000 €	9'292'000 €	- €	635'000 €	10'035'000 €
2030	- €	792'000 €	10'084'000 €	- €	635'000 €	10'670'000 €
2031	- €	792'000 €	10'876'000 €	- €	635'000 €	11'305'000 €
2032	- €	792'000 €	11'668'000 €	- €	635'000 €	11'940'000 €
2033	- €	792'000 €	12'460'000 €	- €	635'000 €	12'575'000 €
2034	- €	792'000 €	13'252'000 €	- €	635'000 €	13'210'000 €
2035	- €	792'000 €	14'044'000 €	- €	635'000 €	13'845'000 €
2036	- €	792'000 €	14'836'000 €	- €	635'000 €	14'480'000 €
2037	- €	792'000 €	15'628'000 €	- €	635'000 €	15'115'000 €
2038	- €	792'000 €	16'420'000 €	- €	635'000 €	15'750'000 €
2039	- €	792'000 €	17'212'000 €	- €	635'000 €	16'385'000 €
2040	- €	792'000 €	18'004'000 €	- €	635'000 €	17'020'000 €

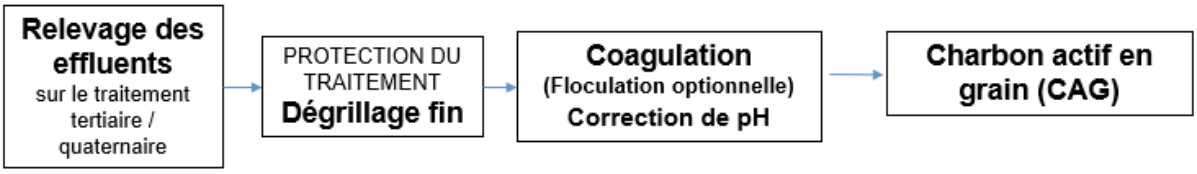
Conclusion : la filière Coagulation Floculation (optionnelle) et CAG se révèle économique la plus intéressante à l'échéance du contrat de DSP.

6 Conclusion (Phase 2)

Le tableau ci-dessous présente l'analyse multicritère des 2 solutions 01 et 02 de traitement global :

	Solution 1 **CAG** **Coagulation - (Floculation optionnelle) - Filtre CAG**		Solution 2 **CAP** **Pulsagreen - Filtre peluche - Filière boues**	
Critère 1 : Robustesse du procédé et simplicité d'exploitation	Filière constituée de procédés robustes, permettant de mutualiser les traitements (filtre CAG servant à l'abattement des micropolluant, rétention des métaux lourds et des microplastiques). Cette mutualisation des traitements permet de diminuer les étapes de traitement.		Filière constituée d'un plus grand nombre d'étapes de traitement, ce qui complexifie son exploitation.	
Critère 2 : Retour du charbon actif dans les boues biologiques	Non concerné		Filière spécifique de traitement des boues quaternaires.	
Critère 3 : Adéquation du procédé avec l'effluent	Procédés en adéquation avec l'effluent de la STEP d'ODIVEA		Procédés en adéquation avec l'effluent de la STEP d'ODIVEA	
Critère 4 : Couts d'investissement - CAPEX	**Respect de l'enveloppe CAPEX :** 8'500'000 € estimation pour la variante V2, donnée à +/- 25%		**Non respect de l'enveloppe CAPEX :** 9'400'000 € estimation pour la variante V2, donnée à +/- 25%	
Critère 5 : Coûts d'exploitation - OPEX	791'307 € # 792'000 € par an estimation pour la variante V2, BV à 22'000		634'694 € # 635'000 € par an estimation pour la variante V2, dosage à 17.5 ppm	
Critère 6 : Appel d'offre attractif et ouverture aux fournisseurs	Procédés non brevetés. Un grand nombre de fournisseurs seraient en capacité de répondre à l'AO		Procédé Pulsagreen breveté (procédé Suez), limitant la concurrence.	

En conclusion au vu de l'analyse multicritère et des couts d'exploitation et d'investissement, nous préconisons de mettre en œuvre la <u>solution 01</u> :



Etapes de traitement :

- Traitement des micropolluants : CAG
- Traitement métaux lourds : Coagulation – floculation + CAG
- Traitement des microplastiques : pouvoir filtrant du CAG
- Correction du pH en sortie pour le rabaisser autour de 7

7 Impressum

Lausanne, le 11.11.2024

CSD INGÉNIEURS SA



Marine Palliser	Marc Lambert
Ingénieure de Projet	Chef de Projet

8 Disclaimer

CSD confirme par la présente avoir exécuté son mandat avec la diligence requise. Les résultats et conclusions sont basés sur l'état actuel des connaissances tel qu'exposé dans le rapport et ont été obtenus conformément aux règles reconnues de la branche.

CSD se fonde sur les prémisses que :

- le mandant ou les tiers désignés par lui ont fourni des informations et des documents exacts et complets en vue de l'exécution du mandat,
- les résultats de son travail ne seront pas utilisés de manière partielle,
- sans avoir été réexaminés, les résultats de son travail ne seront pas utilisés pour un but autre que celui convenu ou pour un autre objet ni transposés à des circonstances modifiées.

Dans la mesure où ces conditions ne seraient pas remplies, CSD déclinera toute responsabilité envers le mandant pour les dommages qui pourraient en résulter.

Si un tiers utilise les résultats du travail ou s'il fonde des décisions sur ceux-ci, CSD décline toute responsabilité pour les dommages directs et indirects qui pourraient en résulter.