



Recommandations regardant la mise en œuvre d'une quatrième étape épuratoire sur les stations d'épuration municipales

La quatrième étape épuratoire constitue une étape supplémentaire dans le traitement des eaux usées. Elle a pour but d'éliminer les micropolluants organiques des eaux usées municipales : par cette catégorie de substances on entend des substances d'origine anthropogène qui sont quantifiées dans le cycle urbain de l'eau dans de basses concentrations (généralement entre ng/L et µg/L). Il s'agit notamment de résidus de médicaments, d'hormones, de produits chimiques, de produits cosmétiques, de pesticides etc. La planification des stations d'épuration (STEPS) municipales selon les règles de l'art ne prévoit pas une élimination des micropolluants organiques, pourtant ceux-ci sont susceptibles d'avoir un impact écotoxicologique sur les cours d'eau. Voilà pourquoi les procédés de la quatrième étape épuratoire sont implémentés au fur et à mesure sur les STEPs municipales afin de diminuer l'apport dans les cours d'eau et l'influence des micropolluants organiques sur les organismes aquatiques. Parmi les procédés utilisés sont à mentionner l'ozonisation menant à une oxydation des micropolluants et les procédés au charbon actif (en poudre ou en grain) menant à une adsorption des micropolluants. Il existe également d'autres procédés d'oxydation, (notamment les Advanced Oxidation Processes), de filtres à membrane, ou des procédés combinés (p. ex. ozonisation & charbon actif ou des filtres plantés avec du charbon actif) qui peuvent être appliqués. Les procédés sont en général implémentés après l'étape biologique des STEPS construites selon l'état de l'art. Afin de joindre les efforts déjà en place à l'étranger, notamment en Allemagne (Bade-Wurtemberg et Rhénanie-du-Nord-Westphalie) et en Suisse, le Luxembourg vise à contribuer à la protection des eaux de surface en implémentant une quatrième étape épuratoire sur des STEPs sélectionnées.

A cette fin, une liste de STEPs devant être dotées dans une première phase d'une quatrième étape épuratoire pour l'élimination des micropolluants a été élaborée et se trouve dans le chapitre D. La sélection de ces STEPs a été réalisée en tenant compte des STEPs les plus grandes du pays afin de traiter la majeure partie des eaux usées du Grand-Duché ainsi qu'en considérant les STEPS pour lesquelles des études relatives à l'élimination des micropolluants organiques ont déjà été entamées. Pour ces STEPs une étude de faisabilité est à réaliser avant l'élaboration du projet détaillé relatif à cette quatrième étape épuratoire, si celle-ci n'existe pas encore. Pour les autres STEPs biologiques municipales, une telle étude de faisabilité pour la réalisation de la quatrième étape épuratoire est également possible. Une étude de faisabilité préalable est une condition nécessaire pour le subventionnement du projet détaillé de la quatrième étape épuratoire.

A. Recommandations regardant le contenu d'une étude de faisabilité

Le contenu d'une étude de faisabilité s'oriente aux études déjà en place en Allemagne et en Suisse. Pour de plus amples informations il est renvoyé aux sites des plateformes d'échange respectives déjà en place (chapitre E). Remarquons que des études de faisabilité sont encore en progrès et que les recommandations y relatives peuvent évoluer. Ainsi le



Kompetenzzentrum Spurenstoffe (KomS) Bade-Wurtemberg est actuellement en train d'évaluer les études des faisabilités existantes et d'élaborer un outil de planification pour les procédés de la quatrième étape épuratoire (KomS, 2019).

Les études de faisabilité réalisées au Luxembourg doivent contenir les points suivants :

1. *Motifs*

Cette partie de l'étude de faisabilité décrit les raisons pour équiper la STEP en question avec une quatrième étape épuratoire. Cette partie doit contenir une description générale de la STEP en question. Sont à joindre :

- une description technique de la STEP (année de construction, dimensionnement, charge, procédés, évacuation des boues, ...),
- une description de la situation de la STEP (bassin tributaire, propriétés du cours d'eau récepteur)
- l'évaluation de l'état écologique et chimique du cours d'eau suivant la directive cadre sur l'eau, si possible,
- un listing complet des rejets susceptibles de contribuer à la charge en micropolluants de la STEP en question (rejets industriels indirects, hôpitaux, maisons de soins, maisons de retraite etc.),
- des données préalables quant à la charge du cours d'eau avec des micropolluants, si celles-ci existent.

2. *Investigations préliminaires*

Si des analyses préliminaires quant à la charge de la STEP avec des micropolluants organiques existent, celles-ci sont à intégrer dans l'étude de faisabilité.

3. *Propriétés des eaux usées : paramètres standard et micropolluants. Screening à réaliser (liste)*

Il est nécessaire de connaître la qualité de l'effluent de la STEP afin de pouvoir évaluer l'efficacité et la faisabilité de certains procédés. Sont à représenter les données relatives à la charge organique (carbone organique dissous (COD) ou demande chimique en oxygène (DCO)), les matières en suspension (MES), bromure et nitrite. Une charge organique élevée mène généralement à des dosages plus élevés pour les procédés avec ozone et/ou charbon actif. Une teneur élevée en matières en suspension inhibe les procédés au charbon actif alors que des teneurs élevées en bromure et nitrite sont problématiques en cas d'ozonisation (formation de bromate et oxydation du nitrite en nitrate avec consommation d'ozone respectivement).

Concernant les analyses relatives aux micropolluants, des campagnes contenant les micropolluants organiques de la liste du chapitre C (« screening ») sont à réaliser. Cette liste pourra être adaptée aux cours des prochaines années suivant le gain de connaissance regardant les micropolluants dans les STEPs et cours d'eau luxembourgeois. Au moins 2 campagnes sont à réaliser à temps sec (avec 2 jours de temps sec qui précèdent les campagnes respectives, si possible). Une répétition de la campagne en temps pluvieux est à effectuer pour évaluer la charge en substances amenées en temps pluvieux, comme des



biocides et des pesticides Des échantillons composites sur 72 h (suite de 3 échantillons composites de 24 h) sont à réaliser dans l'affluent de la STEP ou à l'entrée de l'étape biologique et dans l'effluent de la STEP. Pour des détails à respecter lors de l'échantillonnage des STEP il est renvoyé vers KomS (2018) (pp. 13) Une fiche de travail relative aux échantillons sur 72 h peut être trouvée sur <https://koms-bw.de/publikationen/koms/>. En sus le cours d'eau en amont et en aval de la STEP est à échantillonner de la même façon lors de ces campagnes.

Si ces campagnes ne s'avèrent pas suffisantes afin d'évaluer la charge en micropolluants de la STEP et l'impact sur le cours d'eau récepteur, des campagnes supplémentaires de contrôle devront être effectuées. Il est recommandé de concentrer ces campagnes supplémentaires éventuelles sur une sélection de substances qui se sont manifestées pertinentes ou intéressantes au cours du screening et qui peuvent être quantifiées avec un effort analytique non exhaustif.

4. Paramètres de dimensionnement

La quatrième étape épuratoire doit traiter au moins 70 % du débit annuel traité dans la STEP (« Jahresabwassermenge ») et au moins le débit maximal à temps sec (« maximaler Trockenwetterabfluss ») (pour les bassins tributaires avec système unitaire). Afin de sélectionner le débit de dimensionnement, les débits des dernières (au moins 3) années sont à évaluer. Des recommandations pour déterminer le débit à traiter se trouvent dans KomS (2018). Il est en général recommandé de dimensionner la quatrième étape épuratoire en-dessous de 90 % du débit annuel traité. Pourtant, l'option du traitement du débit entier est à évaluer dans l'étude de faisabilité si p. ex. les propriétés (qualité/débit) du cours d'eau ou de la STEP le préconisent. Pour les STEPs avec bassins tributaires en système séparatif, le débit entier est à traiter dans la quatrième étape épuratoire. En cas d'absence des données nécessaires pour le dimensionnement du débit (p. ex. dimensionnement sur une extension future), une réunion de concertation au sujet du débit de dimensionnement est à effectuer avec l'Administration de la gestion de l'eau (AGE). Si par exemple, un traitement simultané dans la biologie, comme l'addition de charbon actif dans celle-ci, est considéré, le dosage du charbon actif est à adapter de façon adéquate à ce que les critères pour vérifier l'efficacité du processus soient remplis (cf. point B) comme il n'y a pas de débit de dimensionnement proprement dit.

Les autres paramètres sont à sélectionner de manière à obtenir une élimination d'au moins 80 % dans la STEP pour les substances réglementées pour le contrôle d'efficacité (voir B).

5. Elaboration des variantes de traitement

Cette partie contient l'élaboration des différents procédés qui sont possibles pour la STEP en question, en tenant compte des conditions locales. Des facteurs comme la surface disponible, l'utilisation d'équipements existants, l'évacuation des boues, la faisabilité de l'élimination des micropolluants détectées dans l'effluent de la STEP avec les différents procédés, des substances inhibantes comme le bromure pour l'ozonisation, la consommation holistique d'énergie, la qualification du personnel, la surveillance et la sécurité des procédés sont à considérer. Une amélioration de l'élimination des différents paramètres de la STEP (p. ex. DCO, MES) est également à considérer.



Des essais préliminaires au laboratoire avec les différents procédés en question pour la STEP respective sont à effectuer afin d'évaluer l'efficacité des procédés et soutenir le dimensionnement du procédé qui sera choisi ultérieurement :

- Ozonisation : tests de consommation d'ozone (« Ozonzehrungstests ») pour déterminer le temps de contact nécessaire et tests d'exposition à l'ozone et les radicaux $\cdot\text{OH}$ (cf. p. ex. Zappatini und Götz (2015))
- Charbon actif en poudre : tests en mode batch, tests par agitation (« Schüttelversuche ») pour évaluer les processus de l'adsorption et l'efficacité du charbon en question (cf. p. ex. Böhler 2019)
- Charbon actif en grains : tests en colonnes ou rapid small scale column tests (cf. Crittenden et al. 1991)
- Des essais adéquats pour d'autres procédés en question

Lors de ces essais, il doit aussi être tenu compte d'autres paramètres que les micropolluants organiques, lorsque ceux-ci sont importants pour le procédé en question, p. ex. le COD, les matières en suspension, pH, les ions carbonates). Pour un choix adéquat de ces paramètres, la littérature relative aux essais est à consulter.

6. *Elaboration des coûts*

Les coûts des différents procédés en tenant compte des modalités locales sont à énumérer. Sont à distinguer les coûts d'investissement et d'opération. Les coûts de modifications supplémentaires de la STEP dues à la mise en place d'une quatrième étape épuratoire sont également à considérer.

7. *Evaluation des procédés possibles et recommandation d'un procédé*

Les différents procédés en question sont à évaluer suivant les critères suivants:

- Efficacité du procédé
- Coûts d'investissement, d'opération et d'amortissement
- Fiabilité du processus
- Sécurité de l'opération
- Complexité de l'opération
- Nécessité d'installation de traitements préliminaires et subséquents
- Surface disponible
- Consommation d'énergie (électrique et primaire) et impact environnemental
- Effets de synergie (augmentation de l'élimination du DOC, P, MES, ...)
- Désinfection éventuelle

8. *Conclusion*

Les résultats sont à résumer, une conclusion est à faire et, le cas échéant, les prochaines étapes sont à expliquer.

En général, une concertation avec l'AGE est à prévoir au début de l'étude de faisabilité (« Kick-off»). Avant la finalisation de l'étude, une deuxième concertation avec présentation des conclusions préliminaires doit avoir lieu. Bien évidemment, l'AGE se tient à disposition tout au long de l'étude de faisabilité pour toute question éventuelle.



B. Critères pour le contrôle d'efficacité de la 4^e étape épuratoire

Malgré les connaissances existantes sur les micropolluants organiques dans les eaux usées au Luxembourg, il est à ce stade difficile de fixer toutes les substances à analyser pour évaluer la performance de la quatrième étape épuratoire. Ces substances vont évoluer aux cours des études de faisabilité et des changements au niveau législatif (européen et national). Il est opportun de définir un degré d'élimination pour la STEP et non seulement au niveau de la quatrième étape épuratoire, car une élimination partielle peut notamment avoir lieu au niveau de la biologie. Par exemple, un retour du charbon actif dans la biologie fait normalement augmenter l'élimination des micropolluants organiques comparée à une biologie sans charbon actif. En Suisse et en Bade-Wurtemberg, une élimination d'au moins 80 % dans toute la STEP est prescrite pour des micropolluants organiques sélectionnés. Similairement pour le Luxembourg, une élimination d'au moins 80 % dans la STEP est prescrite à ce stade pour les substances suivantes :

Substance	Application	Numéro CAS
Diclofénac	anti-inflammatoire	15307-86-5
Carbamazépine	anticonvulsivant	298-46-4
Clarithromycine	antibiotique	81103-11-9
Benzotriazole	anticorrosif	95-14-7

Le diclofénac est règlementé en Bade-Wurtemberg et en Suisse pour contrôler l'efficacité de la quatrième étape épuratoire ; il n'est en plus guère éliminé dans les STEPs conventionnelles et peut être éliminé aussi bien avec l'ozonisation qu'avec le charbon actif. Il en est de même pour la carbamazépine. Une norme de qualité pour la carbamazépine comme substance spécifique est en plus prescrite dans le règlement grand-ducal du 15 janvier 2016 relatif à l'évaluation de l'état des masses d'eau de surface. La clarithromycine est un antibiotique qui est pour l'instant analysé dans le cadre de la liste de vigilance dans l'Alzette et la Sûre (Décisions 2015/495 et 2018/840 de la Commission Européenne). Son élimination est utilisée en Suisse pour le contrôle d'efficacité de la quatrième étape épuratoire et elle est mieux éliminée avec l'ozonisation qu'avec l'adsorption. Le benzotriazole est un anticorrosif dont l'élimination est évaluée en Bade-Wurtemberg et en Suisse pour le contrôle d'efficacité. Il est mieux adsorbé avec le charbon actif qu'éliminé avec l'ozonisation. Ces deux substances ne sont également guère éliminées dans les STEPs conventionnelles.

Ces quatre substances sont considérées comme substances de base pour le contrôle d'efficacité de la quatrième étape épuratoire. L'addition de substances relatives à la STEP respective est possible selon les résultats obtenus lors de l'étude de faisabilité.

Pour évaluer l'efficacité du traitement quaternaire, il est recommandé de procéder comme décrit dans KomS (2018) et Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2018). La moyenne glissante de l'élimination des 6 dernières campagnes d'analyses, avec un débit entrant dans la STEP inférieur ou égal au débit maximal de la quatrième étape épuratoire, doit être égale ou supérieure à 80 %. Sont à prélever des échantillons composites sur 48 h, proportionnels au débit ou au volume, au moins 6 fois par



an avec des débits inférieurs ou égaux au débit maximal de la quatrième étape épuratoire. Sont à considérer seulement les substances pour lesquelles la concentration à l'entrée de la STEP est 5 fois supérieure à la limite de quantification (LOQ). Si la concentration dans l'effluent est inférieure à la LOQ, la moitié de la LOQ est à utiliser pour la moyenne glissante. Une élimination négative est à comptabiliser avec 0 % élimination. Pour évaluer la performance du traitement quaternaire, les analyses sont à effectuer à l'entrée de la STEP, avant la quatrième étape et dans l'effluent de la STEP (cf. KomS (2018)). Si une opération stable de la quatrième étape épuratoire est démontrée, une réduction des fréquences d'échantillonnage peut être envisagée en concertation avec l'AGE.



C. Liste de paramètres à analyser dans le cadre du screening

Application	Substance	Numéro CAS
Résidus pharmaceutiques et métabolites	10,11-Dihydro-10,11-dihydroxycarbamazépine	58955-93-4
	Acide méfénamique	61-68-7
	<i>Amoxicilline</i>	26787-78-0
	Atenolol	29122-68-7
	<i>Azithromycine</i>	83905-01-5
	Bézafibrate	41859-67-0
	Candésartan	139481-59-7
	Carbamazépine*	298-46-4
	<i>Ciprofloxacine</i>	85721-33-1
	<i>Clarithromycine</i>	81103-11-9
	Dehydrato-Erythromycine-A	23893-13-2
	Diclofenac	15307-86-5
	<i>Erythromycine A</i>	114-07-8
	Gabapentine	60142-96-3
	Guanyl-urée	141-83-3
	Hydrochlorthiazide	58-93-5
	Ibuprofène	15687-27-1
	Irbésartan	138402-11-6
	Kétoprofène	22071-15-4
	Lidocaïne	137-58-6
	Metformine	657-24-9
	Métoprolol	37530-58-6
	N-Acétyl-Sulfaméthoxazole	21312-10-7
Naproxen	2204-53-1	
Propranolol	525-66-6	
Sulfaméthoxazole	723-46-6	
Valsartan	137862-53-4	
Oestrogènes	<i>17-alpha-Ethinylestradiol</i>	57-63-6
	<i>17-beta-Estradiol</i>	50-28-2
	<i>Estrone</i>	53-16-7
Pesticides	AMPA	74341-63-2
	Carbendazime	10605-21-7
	DEET	134-62-3
	Diuron**	330-54-1
	Flufenacet*	142459-58-3
	Glyphosate*	1071-83-6

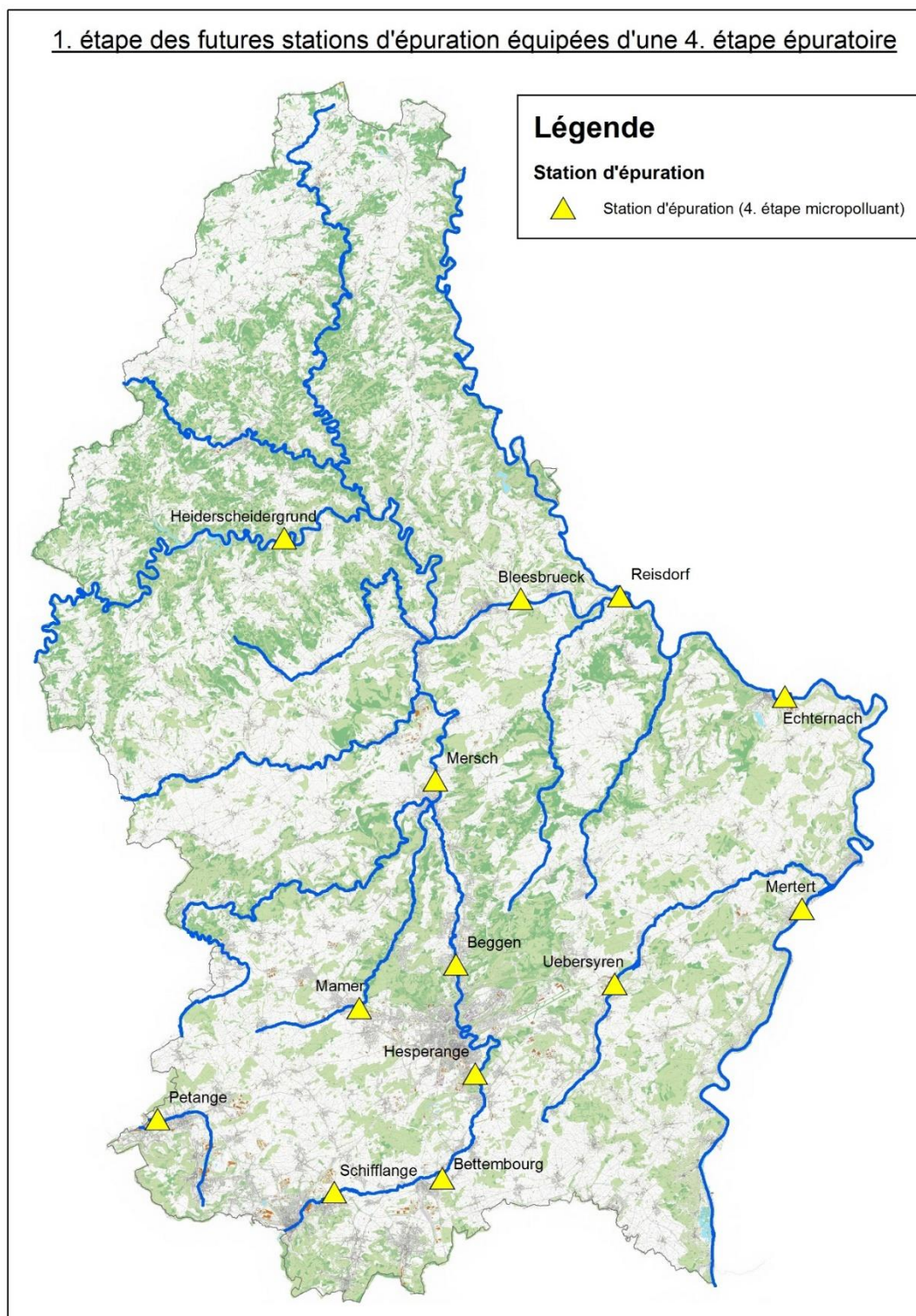


	Isoproturon**	34123-59-6
	Mecoprop	93-65-2
	Terbutryn**	886-50-0
	Triclosan	3380-34-5
Anti-corrosifs	Benzotriazole	95-14-7
	∑ 4- und 5-Méthylbenzotriazole	29878-31-7/136-85-6
Agents chélateurs	DTPA	64-43-6
	EDTA	60-00-4
	NTA	139-13-9
Autres produits chimiques	Bisphénol A	80-05-7
	Mélatamine	108-78-1
Tensioactifs fluorés	PFBA	375-22-4
	PFBS	375-73-5
	PFOA	335-67-1
	PFOS***	1763-23-1
Muscs synthétiques	AHTN (Tonalide)	21145-77-7
	HHBC (Galaxolid)	1222-05-5
Retardateurs de flamme	TCEP	115-96-8
	TCPP	13674-84-5
Edulcorants	Acésulfame K	55589-62-3
	Cyclamate	139-05-9
	Sucralose	56038-13-2
*: substance spécifique; **: substance prioritaire; ***: substance prioritaire et dangereuse/ubiquiste; <i>substance de la liste de vigilance</i>		

Ces substances ont été sélectionnées sur la base de la liste « Spurestoffliste A-2017 » proposée dans KomS (2018). Cette liste a été complétée par des substances qui sont réglementées au Luxembourg et marquées comme telles dans le tableau ci-dessus, des substances qui sont mesurées à des endroits sélectionnés dans les cours d'eau luxembourgeois ou pour lesquelles il y a des résultats d'analyses pour des STEPs, des substances qui se trouvent sur la liste de vigilance de l'UE, qui sont considérées comme métabolite relevant et en vue des discussions au sein du groupe de travail en charge de la rédaction du présent document. Cette liste pourra être adaptée au cours du temps avec le gain de connaissances ou, pour la STEP en question, en concertation avec l'AGE.



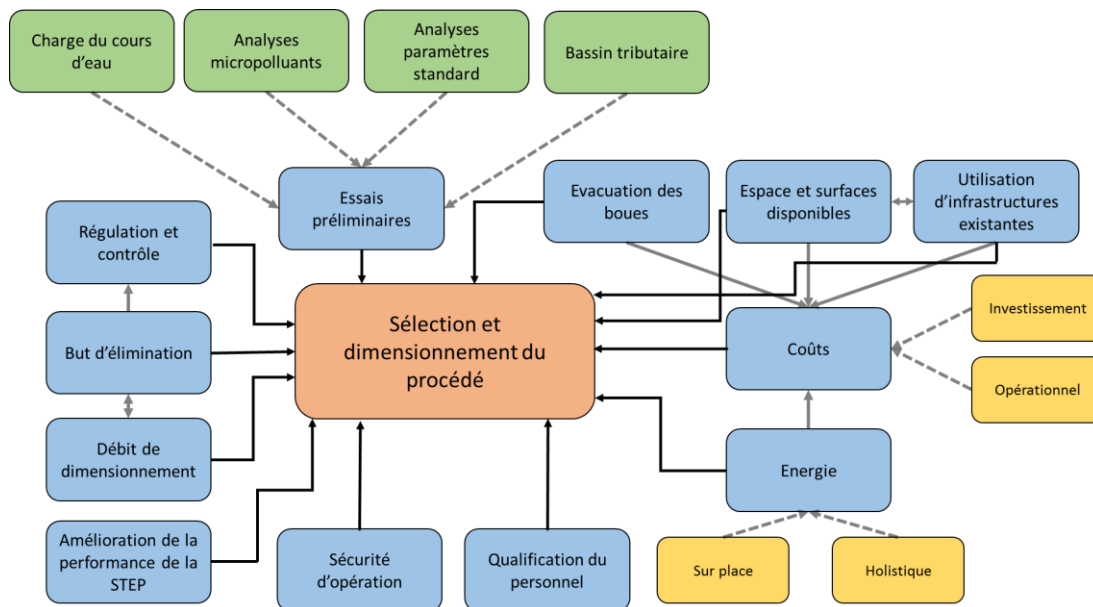
D. Carte des stations d'épuration à doter dans une première phase d'une quatrième étape épuratoire pour le traitement des micropolluants





E. Résumé

Le schéma ci-dessous illustre les points à considérer pour le choix et le dimensionnement du procédé de la quatrième étape épuratoire.



F. Liens

Plateformes d'échange :

Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW: <https://www.masterplan-wasser.nrw.de/das-kompetenzzentrum/>

Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg: <https://koms-bw.de/>

VSA-Plattform "Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen": <https://www.micropoll.ch/>

Littérature:

Böhler, M. (2019): Laborversuche zur Bestimmung der Reinigungsleistung von Pulveraktivkohle zur Entfernung von Mikroverunreinigungen auf Kläranlagen – Anleitung, Hrsg. VSA und Eawag, download: <https://www.micropoll.ch/dokumente/berichte/>

Crittenden, J. C., Reddy, P. S., Arora, H., Trynoski, J., Hand, D. W., Perram, D. L., Summers, R. S. (1991) : Predicting GAC Performance With Rapid Small-Scale Column Tests. American Water Works Association, 83(1):77–87, <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1991.tb07088.x>

Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW (2015) : Mikroschadstoffentfernung machbar? Wesentliche Inhalte einer Machbarkeitsstudie für Anlagen zur Mikroschadstoffelimination mit aktualisierter Stoffliste vom 01.09.2016. https://www.masterplan-wasser.nrw.de/fileadmin/user_upload/Broschueren_PDFs_und_Titel_JPGs/Machbarkeitsstudie_11_2016.pdf



Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW (2016) : Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination (Stand 01.09.2016) 2. überarbeitete und erweiterte Auflage. https://www.masterplan-wasser.nrw.de/fileadmin/user_upload/Broschueren_PDFs_und_Titel_JPGs/Anleitung_Planung_Dimensionierung_11_2016.pdf

KomS (2018) : Handlungsempfehlungen für die Vergleichskontrolle und den Betrieb von Verfahrenstechniken zur gezielten Spurenstoffelimination. https://koms-bw.de/cms/content/media/KomS_Handlungsempfehlung_2018.pdf

KomS (2019) : Auswertung von Machbarkeitsstudien und Erstellung von Planungswerkzeugen. https://koms-bw.de/cms/content/media/Steckbrief_MBKS_NEU.pdf

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2018): Arbeitspapier Spurenstoffelimination auf kommunalen Kläranlagen in Baden-Württemberg. https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/3_Umwelt/Schutz_natuerlicher_Lebensgrundlagen/Wasser/181120_Arbeitspapier-Spurenstoffelimination-kommunale-Klaeranlagen.pdf

VSA (2015) : VSA-Empfehlung Zu behandelnde Abwassermenge und Redundanz von Reinigungsstufen zur Entfernung von Mikroverunreinigungen. https://www.micropoll.ch/fileadmin/user_upload/Redaktion/Dokumente/03_Vollzugshilfen/20151027_Empfehlung_d.pdf

Textes législatifs

Commission Implementing Decision (EU) 2015/495 of 20 March 2015 establishing a watch list of substances for Union-wide monitoring in the field of water policy pursuant to Directive 2008/105/EC of the European Parliament and of the Council (notified under document C(2015) 1756). http://data.europa.eu/eli/dec_impl/2015/495/oj

Commission Implementing Decision (EU) 2018/840 of 5 June 2018 establishing a watch list of substances for Union-wide monitoring in the field of water policy pursuant to Directive 2008/105/EC of the European Parliament and of the Council and repealing Commission Implementing Decision (EU) 2015/495 (notified under document C(2018) 3362). https://eur-lex.europa.eu/eli/dec_impl/2018/840/oj

Règlement grand-ducal du 15 janvier 2016 relatif à l'évaluation de l'état des masses d'eau de surface <http://legilux.public.lu/eli/etat/leg/rgd/2016/01/15/n2/jo>

Verordnung des UVEK zur Überprüfung des Reinigungseffekts von Massnahmen zur Elimination von organischen Spurenstoffen bei Abwasserreinigungsanlagen <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20160123/index.html>

Tous les liens ont été vérifiés le 31 octobre 2019.