



Elimination des composés traces par filtration au charbon actif en granulés (CAG) : essais menés à l'échelle industrielle à la STEP de Bülach-Furt

Rapport intermédiaire, version courte

Dübendorf, janvier 2017

Ce projet est né de la collaboration directe avec les partenaires suivants:

- Eawag (direction de projet, analyses, échantillonnages, exploitation des installations): Simon Bitterwolf, Marc Böhler, Marc Bourgin, Julian Fleiner, Christa McArdell, Adriano Joss, Hansruedi Siegrist
- STEP de Bülach (mise en place de l'installation, exploitation des installations, échantillonnages): Gianni Bombardieri, Markus Allemann, Roland Vonderlin
- AWEL (analyses des micropolluants): Christian Balsiger, Urs Holliger, Oliver Jäggi, Daniel Rensch
- WABAG (planification et installation): Martin Baggenstos, Andreas Gehringer

Les partenaires suivants ont contribué à la planification du projet et à son financement:

- Syndicat des eaux usées de Morgental: Roland Boller
- STEP de Berne: Beat Ammann
- STEP de Real: Thomas Klaus, Alexander Kleiner
- Consorzio Depurazione Acque Lugano e dintorni: Laurent Kocher
- CSD Ingenieure AG: Markus Knöpfli, Jonas Löwenberg
- Service d'élimination des déchets de Saint-Gall: Marco Sonderegger
- ERZ: Christian Abegglen, Peter Wiederkehr
- Hunziker Betatech AG: Ruedi Moser
- Canton d'Argovie, service de l'environnement: Reto Bannier, Jörg Kaufmann
- Canton de Berne, Office des eaux et des déchets: Jan Suter
- Canton de Soleure, Office de l'environnement: Thilo Arlt, Philipp Stauer
- Canton de St-Gall, Office de l'environnement et de l'énergie: Michael Eugster
- Canton de Thurgovie, Office de l'environnement: Irene Purtschert
- SIG: Stephan Ramseier, Alex Wahl, Christian Zumkeller
- TBF + Partner AG: Christian Fux
- VSA: Anita Landolt, Pascal Wunderlin
- Conférence des directeurs de l'environnement des cantons de Suisse centrale: Patrick Graf

En coopération avec et sur ordre de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV).

Cette version courte du rapport intermédiaire a été rédigée par Pascal Wunderlin, Adriano Joss et Julian Fleiner.

RESUME

Les procédés de traitement au charbon actif en granulés (CAG) atteignent le taux d'élimination des micropolluants (MP) requis, conformément aux exigences de la nouvelle ordonnance sur la protection des eaux pour une utilisation comparable aux systèmes au charbon actif en poudre (CAP), dans la mesure où le procédé est dimensionné et exploité selon les recommandations suivantes:

- L'exploitation des filtres CAG est réalisée avec un temps de contact (EBCT) suffisant qui s'élève à environ 25 minutes.
- L'exploitation de la filtration au CAG est comparable à celle d'un filtre à sable (intervalles de rétrolavage, etc.).
- La réactivation ou le renouvellement échelonné dans le temps du CAG dans des cellules filtrantes exploitées en parallèle permet d'obtenir des durées de vie beaucoup plus élevées.
- L'élimination par temps de pluie (faibles concentrations de MP et vitesse de filtration élevée, respectivement EBCT peu élevé) permet de déterminer la durée de vie et le moment où il faut réactiver la cellule à CAG ayant traité le plus grand nombre de volumes de lit (VL).
- Une augmentation du lit filtrant permet d'obtenir un EBCT plus élevé pour une surface au sol du filtre prédéfinie.
- Le rendement de l'élimination et l'état de chargement des cellules filtrantes peuvent être surveillés à l'aide de mesures CAS₂₅₄ en laboratoire ou de sondes en ligne.

Sommaire

RESUME	3
1 INTRODUCTION ET ETAT DES CONNAISSANCES	4
2 TERMINOLOGIE ET DEFINITIONS IMPORTANTES	4
3 ANALYSES EFFECTUEES DANS LA STEP DE BÜLACH-FURT	4
4 EXPLOITATION DES FILTRES (CAG).....	6
5 RESULTATS ET DISCUSSION	6
5.1 Elimination moyenne des 12 substances à mesurer	6
5.2 Elimination moyenne des six substances les moins bien éliminables (scénario le plus pessimiste).....	8
5.3 Influence du temps de contact (EBCT)	8
5.4 Elimination du carbone organique (COD) par les filtres CAG et corrélation par rapport à l'élimination des MP.....	9
5.5 Evaluation de la durée de vie du CAG avec l'exemple de la STEP de Bülach-Furt	10
5.6 Estimation de la dose de CAG nécessaire	12
6 CONCLUSIONS et perspectives.....	13
7 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	14

1 INTRODUCTION ET ETAT DES CONNAISSANCES

Le charbon actif en granulés (CAG) a, comme le charbon actif en poudre, une très grande surface spécifique (de 800 à 1'200 m²/g CAG), sur laquelle des micropolluants (MP) et d'autres substances organiques sont adsorbées de manière efficace et donc éliminées des eaux usées. De plus, le CAG est versé dans un filtre confiné, traversé par les eaux usées (comme pour un filtre à sable). Du fait de sa granulation grossière, il n'est pas nécessaire de mettre en place une étape supplémentaire pour retenir le charbon, contrairement au charbon actif en poudre. Il n'est pas non plus nécessaire de recourir à des systèmes automatisés de dosage de charbon, ni à des produits chimiques (pour la précipitation et la floculation). Le CAG peut être réactivé et réutilisé après application, c'est-à-dire après épuisement de la capacité de sorption requise. Après chaque réactivation, seulement 10 à 20% de CAG frais sont nécessaires pour restaurer la capacité d'adsorption. De cette manière, les émissions de CO₂ sont nettement plus faibles qu'avec le charbon actif en poudre.

La mise en œuvre d'une filtration au CAG peut être réalisée à des coûts relativement limités si la station d'épuration (STEP) est déjà équipée de filtres à sable existants: (i) le matériel filtrant doit être remplacé; (ii) le programme de rétrolavage est généralement paramétré pour un rétrolavage le plus doux possible afin d'éviter l'abrasion du charbon; (iii) l'activation et la désactivation de certaines cellules filtrantes sont déterminées par le temps de contact (et pas la vitesse de filtration). Afin d'augmenter la durée de vie du CAG et donc obtenir un rendement élevé, deux aspects doivent plus particulièrement être pris en compte (Benstöm et al., 2016a, 2016b): (i) un temps de contact en lit vide (EBCT) de l'ordre de 20-30 minutes, et (ii) une concentration aussi faible que possible de substances organiques dissoutes (COD) dans les eaux usées en entrée. Un produit CAG optimal présentant une structure de pores adaptée aux eaux usées doit par ailleurs être choisi (sélection préalable à l'aide de tests en laboratoire). Des effluents pauvres en substances solides favorisent par ailleurs la rentabilité, en permettant de minimiser les intervalles de rétrolavage. Une activité biologique se développant au cours de l'exploitation sur le grain de CAG augmente l'élimination de certains MP.

2 TERMINOLOGIE ET DEFINITIONS IMPORTANTES

Les définitions suivantes jouent un rôle central dans la bonne compréhension des analyses et discussions qui suivent:

- **Volume de lit (VL):** le volume de lit (VL) correspond au volume d'eaux usées traité ($V_{\text{eaux usées}} = Q \cdot \text{durée d'exploitation}$) par rapport au volume en lit vide filtrant (V_{filtre}). Le taux d'élimination du CAG est rapporté au VL traité, permettant ainsi de comparer les résultats obtenus avec les différents filtres. $VL = V_{\text{eaux usées}}/V_{\text{filtre}}$
- **Temps de contact en lit vide (EBCT):** le temps de contact en lit vide (dénomination anglaise: Empy Bed Contact Time, EBCT) est la mesure du temps de contact entre l'eau et le matériel filtrant CAG. Il est défini comme étant le volume en lit vide filtrant (V_{filtre} ; le volume du CAG étant négligeable) divisé par le débit (Q), ou la hauteur du filtre (H) divisée par la vitesse de filtration (v_f). $EBCT = V_{\text{filtre}}/Q = H/v_f$
- **Vitesse de filtration (v_f):** la vitesse de filtration (v_f) est obtenue en divisant le débit (Q) par la surface filtrante (A). Elle indique à quelle vitesse les eaux usées parcourent le filtre à lit fixe. $v_f = Q/A$

3 ANALYSES EFFECTUEES DANS LA STEP DE BÜLACH-FURT

A la STEP de Bülach-Furt, les concentrations en matières dans les eaux usées en entrée de la filtration sont faibles (4-6 mg/l), de même que les concentrations en COD (5-7 mg COD/l). Les eaux usées sont pour l'essentiel communales. La « qualité de l'effluent » est donc optimale pour une filtration au CAG visant à éliminer les MP. Il y a par ailleurs 6 cellules de filtre à sable d'une surface de 22.5 m² chacune et d'un volume de 33.75 m³ (avec une hauteur de lit filtrant de 1.5

mètre). En décembre 2014, deux de ces filtres à sable ont été transformés en filtres à CAG, puis mis en service.

Trois phases d'exploitation peuvent être distinguées (figure 1):

- **Phase 1a:** de décembre 2014 à octobre 2015, un filtre à sable (filtre 4) et l'un des deux filtres à CAG (filtre 6) ont été exploités avec un temps de contact en lit vide (EBCT) moyen de 12.6 minutes. Cela correspond à l'exploitation normale d'un filtre à sable par temps sec. Le deuxième filtre à CAG (filtre 5) a été exploité avec un EBCT moyen de 21 minutes: le filtre 5 a traité, durant la même période, près de la moitié des eaux usées des filtres 4 et 6.
- **Phase 1b:** d'octobre 2015 à mai 2016, l'EBCT des filtres 4 et 5 a été légèrement réduit et celui du filtre 6 doublé.
- **Phase 2:** depuis juin 2016, le filtre à CAG 6 et le filtre à sable 4 sont exploités en combinaison avec une ozonation en amont. Ces analyses sont encore menées à l'heure actuelle et ne sont donc pas abordées dans le présent rapport.

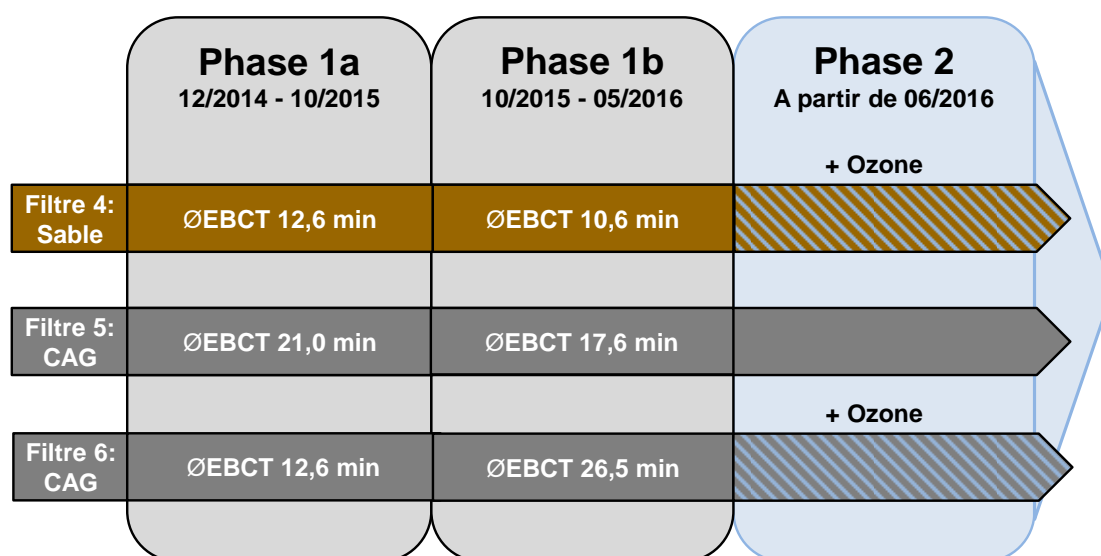


Figure 1. Déroulement chronologique du projet et exploitation des filtres dans chacune des phases du projet. Ø EBCT (Empty Bed Contact Time) = temps de contact moyen des eaux usées avec le matériau filtrant (voir le chapitre «Terminologie et définitions importantes»).



Figure 2. Le CAG Aquasorb 5010 utilisé dans le filtre (à gauche), le remplissage des filtres en décembre 2014 (au centre) et une cellule avec une arrivée d'effluent (à droite).

Le rétrolavage des filtres est déclenché conformément à la perte de pression dans les cellules filtrantes, de sorte à pouvoir calculer de manière optimale la durée de vie et les intervalles de rétrolavage. Le rétrolavage est généralement composé d'un rinçage à l'air et d'un rinçage à l'eau. Mais le rinçage à l'air a été réduit afin de préserver le CAG (c'est-à-dire qu'il n'est pas effectué à chaque rétrolavage). Le charbon frais AquaSorb® 5010 de l'entreprise Jacobi a été utilisé pour réaliser les essais (masse volumétrique apparente: 385 kg/m³; prix: 2.3 CHF/kg). Une granulation - de 1.2 à 2.3 mm - a été choisie afin que le charbon ne soit ni trop grossier (car cela exigerait un temps de contact plus élevé), ni trop fin, afin que les buses filtrantes n'aient pas à être remplacées (largeur de fentes des buses filtrantes 0.5 mm). Quelques impressions sur l'installation CAG et l'exploitation des filtres sont visibles dans l'illustration 2.

4 EXPLOITATION DES FILTRES (CAG)

Les vitesses de filtration dépendent de l'entrée de la STEP et ont donc varié relativement fortement. Durant la phase 1a, les filtres 4 et 6 ont été exploités à des vitesses de filtration moyennes plus élevées (7.6 m/h) et donc un EBCT moyen plus faible (12.6 minutes) que le filtre 5 (4.6 m/h correspond à un EBCT de 21 minutes). Pour cette raison, les volumes de lit traités dans les filtres 4 et 6 (plus de 25'000 VL) sont plus élevés que ceux du filtre 5 (env. 18'000 VL). Mais les volumes de lit traités dans les filtres se sont de nouveau réajustés en raison de la réduction de la vitesse de filtration du filtre à CAG 6 au début de la phase 1b.

Tableau 1. Aperçu des paramètres d'exploitation des journées d'essai durant les phases 1a et 1b.

Phase	Ø EBCT [min] (±écart-type absolu [min]; relatif [%])		Ø v _f [m/s]		VL atteints	
	1a	1b	1a	1b	1a	1b
Filtre à sable 4	12.6 (±2.6; ±21%)	10.6 (±2.6; ±25%)	7.6	9.0	25'452	39'008
Filtre CAG 5	21.0 (±4.2; ±20%)	17.6 (±4.4; ±25%)	4.6	5.4	18'125	29'662
Filtre CAG 6	12.6 (±2.5; ±19%)	26.5 (6.6; ±25%)	7.6	3.6	26'967	34'692

5 RESULTATS ET DISCUSSION

5.1 Elimination moyenne des 12 substances à mesurer

Les cellules filtrantes ont été testées en entrée et en sortie au moyen d'échantillons composites sur 24 heures. L'élimination moyenne des 12 substances à mesurer pour estimer le taux d'épuration est représentée dans la figure 3 et abordée ci-après individuellement pour chaque filtre. L'élimination des différentes substances est décrite dans la version longue du rapport intermédiaire.

Filtre 4 (filtre à sable) : durant la phase d'exploitation 1a, le filtre à sable (filtre 4) a éliminé les 12 substances à mesurer à environ 14% en moyenne (principalement le benzotriazole et le méthylbenzotriazole). Dans la mesure où ce filtre est déjà utilisé depuis longtemps, nous supposons que les MP sont éliminés par l'activité biologique. Durant la phase 1b, durant laquelle le EBCT a été réduit, le taux d'élimination du filtre 4 a considérablement diminué (passant à 2 à 3% en moyenne). Les substances à mesurer n'ont pratiquement pas été éliminées durant cette phase d'exploitation.

Filtre à CAG 5: durant les deux premières semaines d'exploitation, l'élimination des 12 substances à mesurer était pratiquement complète (> 97%). Au cours des cinq premières semaines (après 3'500 VL traités), l'élimination a diminué pour atteindre environ 90%.

A la fin de la phase 1a, le filtre a atteint 18'000 VL et a vu, durant cette période, un net ralentissement de la perte en capacité d'élimination. Au vu de cette lente diminution de la capacité d'élimination, il est supposé que la capacité de sorption n'était certainement pas encore épuisée à la fin de la phase 1a. Il n'est pas possible de tirer de conclusion définitive sur le nombre de VL atteignable avec ces états de fonctionnement (c'est-à-dire jusqu'à ce que le charbon doive être réactivé) en raison du changement des paramètres d'exploitation durant la phase 1b. L'EBCT a été diminué durant la phase 1b, entraînant une baisse significative du rendement d'élimination. Par la suite, le rendement s'est réajusté, comme on pouvait s'y attendre, pour atteindre des valeurs dans la plage de celles du filtre à CAG 6 durant la phase 1a, en raison des conditions de fonctionnement et des temps de contact (EBCT) similaires des deux filtres. Par ailleurs, il a pu être démontré que le rendement d'élimination exigé n'est plus atteint après un temps relativement court (env. 5'000 VL) avec ces EBCT bas (de 12 à 18 minutes).

Filtre à CAG 6: durant les deux premières semaines d'exploitation, l'élimination des 12 substances était presque complète, comme pour le filtre 5 (> 97%). Le rendement d'élimination a diminué de manière continue par la suite et, pour la première fois, n'a plus atteint le taux d'élimination de 80% après 3'000 VL (c'est-à-dire après le premier mois d'exploitation). A partir de 5-6'000 VL et de façon permanente, le taux d'élimination requis n'a plus été atteint. La baisse de l'élimination s'est ensuite ralentie et le taux d'élimination était d'env. 63% en moyenne à 25'000 VL. Cet EBCT est toutefois trop faible pour une exploitation rentable. L'EBCT a donc été doublé lors de la phase d'exploitation 1b, passant de 12.6 minutes en moyenne à 26.5 minutes. La capacité d'élimination s'est améliorée, passant d'environ 60% à 95%. Par la suite, l'élimination a de nouveau diminué pour atteindre 87% en moyenne. Dans l'ensemble, on constate une élimination invariablement élevée et suffisante des substances à mesurer, à l'exception de baisses survenues pendant trois jours à fort débit (près de 80% d'élimination par temps pluvieux). Durant la phase 1b, il a ainsi pu être établi que la performance des filtres à CAG qui présentaient jusqu'à présent un faible rendement d'élimination pouvait être considérablement améliorée, même avec un nombre de VL relativement élevé (>25'000 VL), grâce à une augmentation des EBCT.

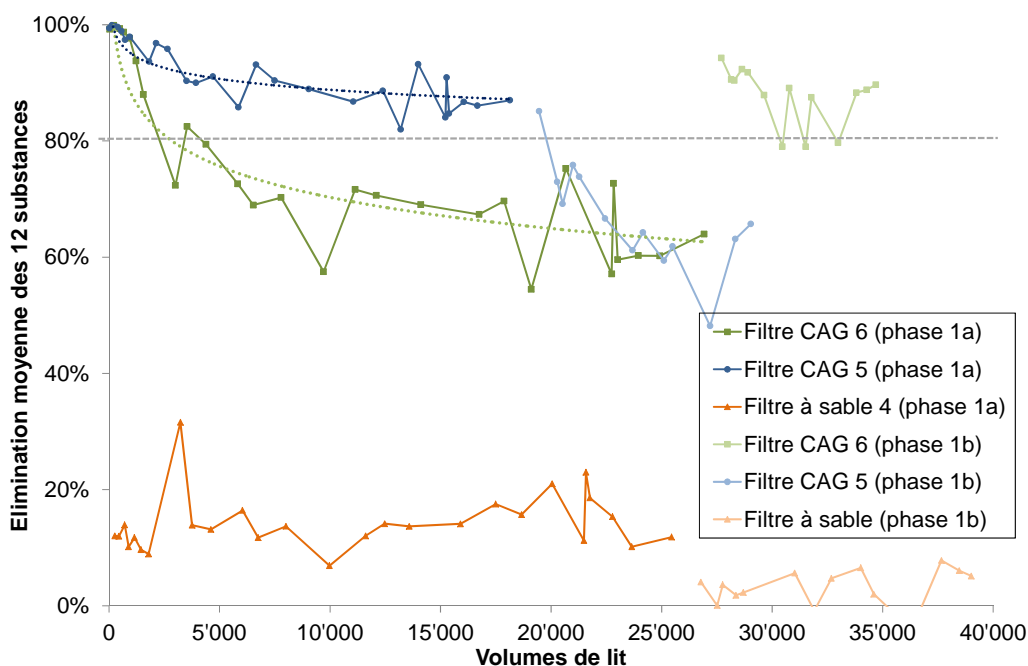


Figure 3. Elimination moyenne des 12 substances à mesurer dans les cellules filtrantes testées par rapport aux volumes de lit (VL) traités.

5.2 Elimination moyenne des six substances les moins bien éliminables (scénario le plus pessimiste)

Les filtres à CAG auraient tendance à être plus mal évalués, si l'on se base seulement sur les 6 substances les moins bien éliminables au lieu des 12 substances à mesurer (voir plus haut). Dans ce cas, les 6 substances seraient les suivantes: carbamazépine, clarithromycine, diclofénac, venlafaxine du groupe 1 («très bien éliminables») ainsi que le candésartan et l'irbésartan du groupe 2 («bien éliminables»). Avec ces substances, le filtre CAG 5 n'aurait pas permis d'atteindre un taux d'élimination de 80% durant la phase 1a, et ce déjà après environ 5'000 VL. Le filtre à CAG 6 avec un EBCT beaucoup plus faible que le filtre 5 (phase 1a) a pu garantir le rendement d'épuration requis seulement durant les trois premiers jours de l'essai, mais plus par la suite. Toutefois, la capacité d'épuration a de nouveau été garantie après l'augmentation de l'EBCT. Cela confirme que l'EBCT est un facteur décisif dans ce contexte.

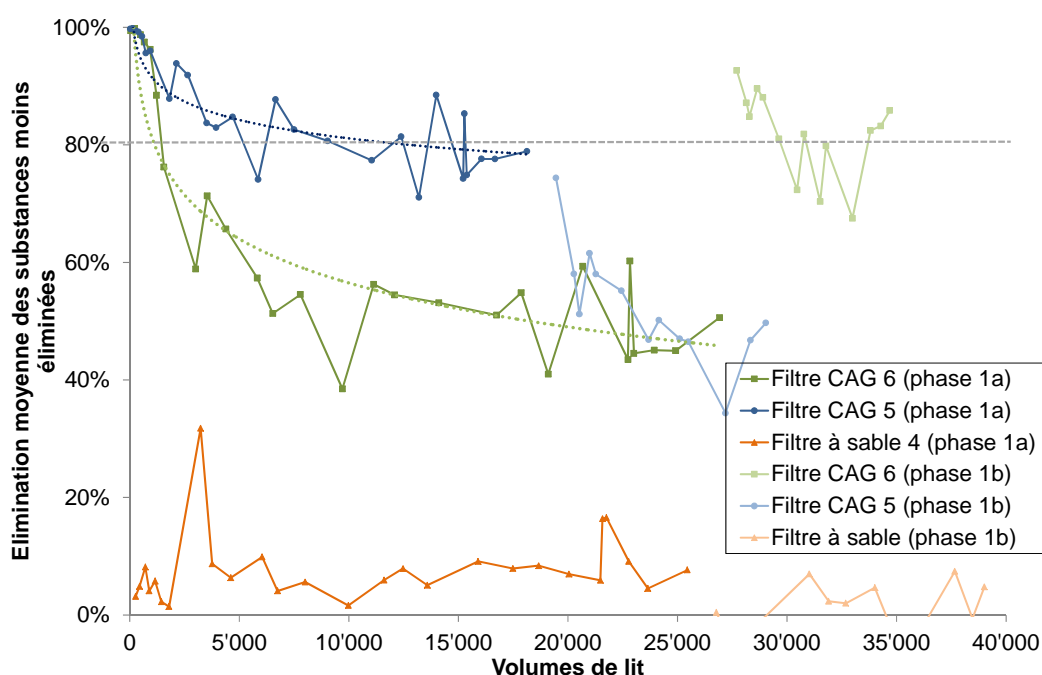


Figure 4. L'élimination de la sélection la plus pessimiste (carbamazépine, clarithromycine, diclofénac, venlafaxine, candésartan et irbésartan) issue des substances à mesurer par rapport aux volumes de lit traités.

5.3 Influence du temps de contact (EBCT)

La corrélation de l'EBCT avec l'élimination des substances issues du scénario le plus pessimiste (voir plus haut) montre que des temps de contact généralement plus élevés que pour les 12 substances à mesurer sont nécessaires pour garantir une élimination de 80% (illustration 5). La corrélation de l'EBCT par rapport à l'élimination des substances à mesurer révèle qu'un EBCT minimal de près de 24 minutes est nécessaire pour garantir une élimination suffisante ($\geq 80\%$) de la sélection la plus pessimiste. A titre de comparaison: pour respecter l'efficacité d'épuration requise des 12 substances, un temps de contact d'environ 20 minutes serait déjà suffisant. Par ailleurs, on peut voir dans l'illustration 5 qu'une augmentation supplémentaire du temps de contact (> 30 minutes) ne générerait probablement pas d'amélioration notable du rendement d'élimination, car ce dernier n'augmente que très lentement. Mais il existe encore trop peu de points de données dans ce domaine pour tirer des conclusions définitives.

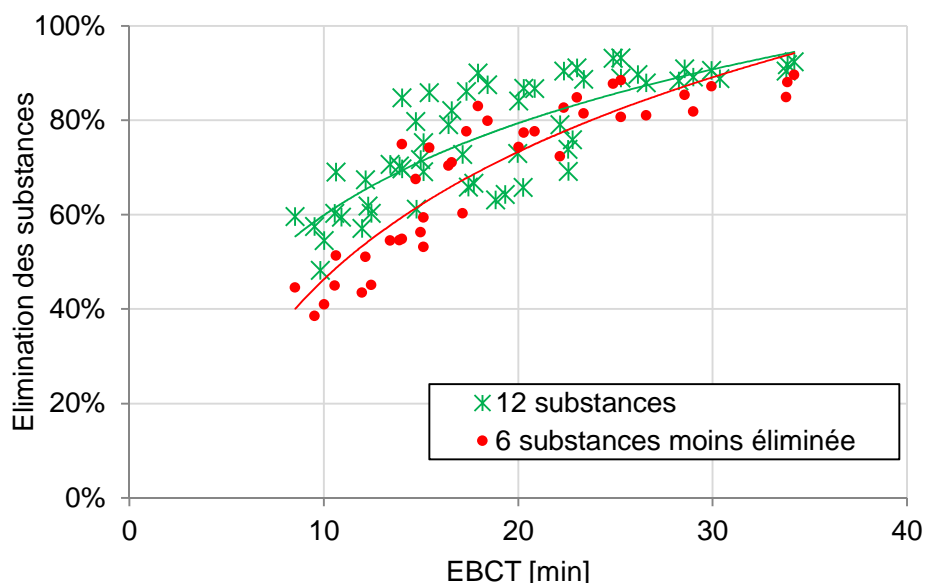


Figure 5. Corrélation de l'EBCT avec l'élimination des MP comme valeur moyenne des 12 substances (vert) respectivement des six substances les moins bien éliminables (issues du scénario le plus pessimiste, rouge). Pour ce faire, seules les données de la phase 1a du filtre CAG 5 ont été utilisées, ainsi que celles des phases 1a et 1b du filtre CAG 6.

5.4 Elimination du carbone organique (COD) par les filtres CAG et corrélation par rapport à l'élimination des MP

Les concentrations de COD à l'entrée de la filtration se situaient entre 4-7 mg/l entre décembre 2014 et avril 2016 (illustration 6). Dans le filtre à sable, le COD a réduit de 7% en moyenne de manière constante durant la période du projet avec des temps de contact de 12 minutes. Les deux filtres à CAG ont éliminé le COD à 62% (filtre à CAG 6) et 66% (filtre à CAG 5) en moyenne durant les dix premiers jours d'exploitation, lorsque le charbon actif n'était pas encore chargé. Par la suite, l'élimination du COD a fortement diminué, probablement en raison d'une augmentation de la saturation du CAG. Mais il est intéressant de noter qu'une élimination constante de COD de 20% est apparue sur les deux filtres à CAG après un certain temps d'exploitation, un résultat près de deux fois plus élevé qu'avec le filtre à sable. Par conséquent, on peut supposer qu'un effet combiné d'adsorption et d'élimination biologique ou une activité biologique d'un autre type sur les grains de CAG permettent d'améliorer cette performance. Cette évolution caractéristique de l'élimination du COD a déjà été observée dans d'autres études (voir par exemple Böhler et al. 2012, Böhler et al. 2017). La modification des temps de contact durant la phase d'exploitation 1b a engendré un changement significatif, comme pour l'élimination des substances à mesurer: une augmentation de l'EBCT du filtre à CAG 6 de 12.6 minutes à 26.5 minutes a permis de doubler l'élimination du COD. Les données actuelles ne permettent toutefois pas d'évaluer s'il s'agit d'une adsorption plus efficace sur le charbon ou d'une élimination supplémentaire améliorée sur le plan biologique.

L'illustration 7 prouve que le comportement d'élimination des MP corrèle beaucoup mieux avec l'absorption UV à 254 nm qu'avec le COD, bien que les micropolluants ne représentent qu'une partie réduite du COD. Il semble donc que les matières organiques, qui absorbent la lumière avec une longueur d'onde de 254 nm (composés aromatiques, substances avec groupes fonctionnels, doubles liaisons), corréleront beaucoup mieux avec l'élimination des MP que la somme de toutes les substances organiques dissoutes (COD). Ainsi, pour la filtration au CAG, une mesure continue de l'absorbance UV à 254 nm peut également être utilisée pour surveiller l'exploitation (voir également la plateforme VSA «Techniques de traitement des micropolluants», 2016). Dans la pratique, cette mesure est mieux adaptée qu'une mesure COD (en ligne) pour estimer le taux d'épuration des MP.

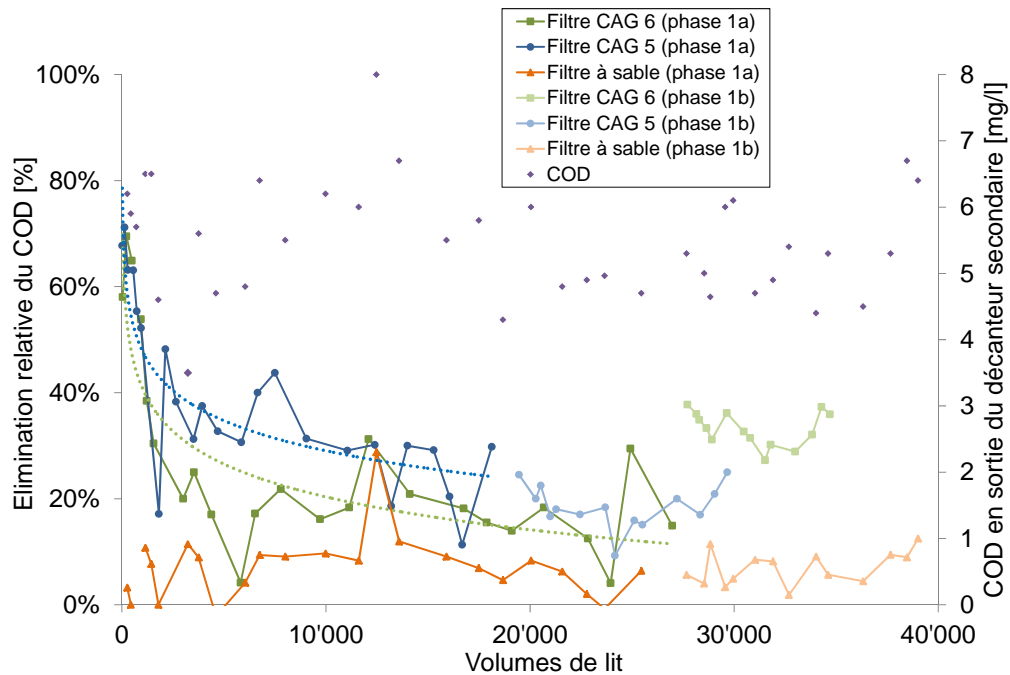


Figure 6. La concentration de COD à la sortie du décanteur secondaire (axe de droite), ainsi que le taux d'élimination du COD des cellules filtrantes (axe de gauche) au cours du temps (VL).

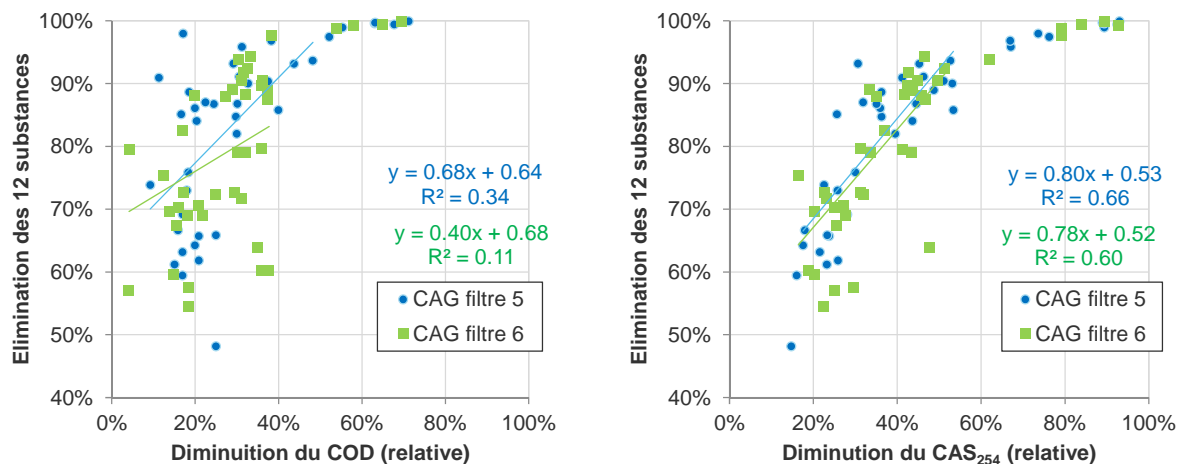


Figure 7. Corrélation de l'élimination des MP avec le COD (à gauche) et le CAS 254 (à droite; données issues de la phase d'exploitation 1). Les lignes droites et les formules représentent la régression linéaire des points de données avec une élimination des MP comprise entre 60% et 95%.

5.5 Évaluation de la durée de vie du CAG avec l'exemple de la STEP de Bülach-Furt

Un défi important de l'exploitation d'un filtre à CAG réside dans un temps de contact (EBCT) minimal de 25 minutes (figure 5), afin d'obtenir une élimination des micropolluants rentable. Cet aspect doit être pris en compte dans l'exploitation lors de la transformation des cellules de filtre à sable existantes. Dans le cas de la STEP de Bülach-Furt, qui dispose de six cellules filtrantes à sable exploitées en parallèle, les différents filtres peuvent être activés de façon progressive, si cet EBCT minimal ne peut plus être garanti par les cellules filtrantes en service.

De plus, la durée de vie de chaque cellule peut être prolongée de manière significative à l'aide du renouvellement échelonné du CAG. On tire ainsi profit du fait que le rendement d'épuration se rapporte à l'ensemble du processus et pas au rejet de chaque cellule filtrante. C'est pourquoi les

cellules filtrantes sont remplacées de manière échelonnée dans le temps. Cela signifie qu'une cellule à CAG continue à être exploitée, même si elle ne garantit plus le rendement d'épuration requis. Mais l'ensemble du processus atteint toujours l'objectif de qualité exigé de 80%, car d'autres filtres à CAG ayant traité moins de VL à ce moment-là présentent un taux d'épuration plus élevé. Un renouvellement échelonné du CAG des cellules filtrantes permet d'exploiter au mieux la capacité d'adsorption du charbon actif en granulés utilisé.

Dans la figure 8, les durées de vie ainsi atteignables ont été évaluées. De plus, deux scénarios ont été élaborés pour déterminer l'évolution de l'élimination au cours du temps: les données du filtre à CAG 5 ont été utilisées avec un EBCT moyen de 21 minutes (phase d'exploitation 1a). Ce filtre garantissait toujours un rendement d'épuration >80% après 18'000 VL traités. Nous nous sommes basés sur une diminution linéaire de l'élimination. Ce faisant, l'élimination en cas de pluie joue un rôle déterminant, car le taux de 80% doit être atteint indépendamment des conditions météorologiques.

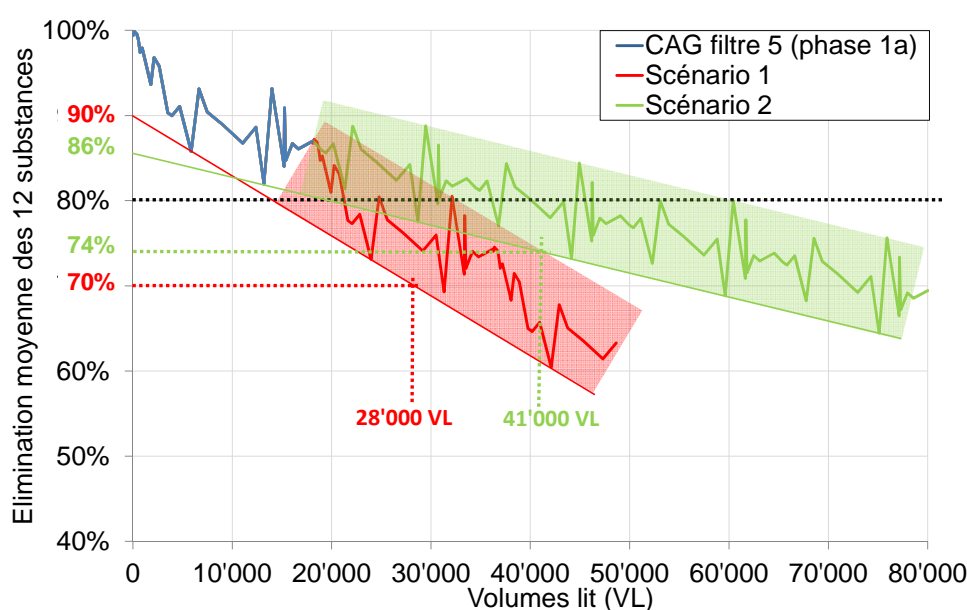


Figure 8. Différents scénarios possibles pour la baisse du rendement d'élimination des MP du filtre à CAG 5 avec un EBCT de 21 minutes. L'élimination moyenne des substances à mesurer a été calculée jusqu'à 18'000 volumes de lit (ligne noire). Selon le scénario envisagé, un temps d'exploitation court (scénario 1: 28'000 VL; ligne rouge) ou plus long (scénario 2: 41'000 VL; ligne verte) est possible. En fonctionnement parallèle, une régénération du CAG le plus «ancien» doit avoir lieu, afin de pouvoir maintenir une élimination globale de 80% des 12 substances.

Scénario 1: il a été supposé ici que l'élimination se poursuivait en suivant la même diminution et les mêmes variations que dans la phase 1a. Dans ce scénario, le rendement d'épuration de 80% n'est plus atteint dans les différentes cellules filtrantes à partir d'environ 15'000 VL. A 28'000 VL, la courbe passe sous le seuil des 70% dans le filtre individuel. Cela signifie que l'ensemble du processus ne peut plus garantir une élimination de 80% en fonctionnement parallèle. Le filtre à CAG ayant traité le plus de VL doit alors être changé. L'intervalle de changement résultant pour ces cellules filtrantes est d'environ 1.4 an (dans l'hypothèse d'un nombre de VL annuel de 20'000 par cellule filtrante).

Scénario 2: dans ce scénario, nous partons du principe que la tendance du rendement d'élimination du filtre à CAG 5 (phase d'exploitation 1) ainsi que les variations apparues après environ 3'500 VL vont se poursuivre (pour rappel: dans le scénario 1, nous avons extrapolé à partir de 15'000 VL). La tendance extrapolée montre seulement une légère diminution de l'élimination. De cette manière, chaque cellule filtrante peut être exploitée jusqu'à 41'000 VL.

L'intervalle de changement résultant serait bien plus long que dans le scénario 1 et s'élèverait à environ 2 ans.

Il convient de noter que les deux scénarios représentent des extrapolations encore incertaines, car les filtres n'ont pas encore été exploités aussi longtemps. Nous ne savons donc pas encore comment la diminution du rendement d'élimination va évoluer dans la réalité.

Il convient donc à nouveau ici de préciser que les scénarios représentés et les volumes de lit qui en découlent valent pour l'exemple de la STEP de Bülach-Furt et ne peuvent pas s'appliquer à d'autres STEP. Des taux de COD élevés à l'entrée d'une filtration au CAG (charge présente en amont) et les substances individuelles spécifiques de la matrice d'eaux usées concernée déterminent la performance de la filtration au CAG pour l'élimination des composés traces sur le site concerné.

5.6 Estimation de la dose de CAG nécessaire

Pour estimer la rentabilité du procédé, la consommation de charbon est comparée à un traitement au charbon actif en poudre (CAP). Le CAG utilisé présente une masse volumétrique apparente de 385 kg/m³. Si 28'000 VL sont traités conformément au scénario 1 (voir plus haut), cela correspondrait à une dose de CAG de 14 g CAG /m³ d'eaux usées traitées (dose CAG = masse volumétrique apparente/VL). Si 41'000 VL sont atteints (scénario 2; voir plus haut), cela correspondrait à une dose de CAG de 9 g CAG /m³ d'eaux usées traitées. Cela signifierait qu'avec une filtration au CAG une dose de charbon actif par m³ d'eaux usées traitées comparable et peut-être même légèrement plus faible que le procédé par CAP est nécessaire (figure 9). A titre de comparaison: lors d'une application de CAP réalisée en aval de la biologie, les doses de CAP se situent généralement entre 10-15 mg/l avec une concentration de COD de 5-6 mg/l. Dans le cas d'un dosage de CAP dans l'étape de traitement biologique, entre 11-18 g CAP/m³ d'eaux usées par temps sec et 19 g CAP/m³ par temps de pluie ont été nécessaires à la STEP de Flos in Wetzikon pour obtenir une élimination de 80% des substances à mesurer (Obrecht et al., 2015); une réduction de la dose nécessaire est toutefois possible après optimisation (intégration de deux étapes).

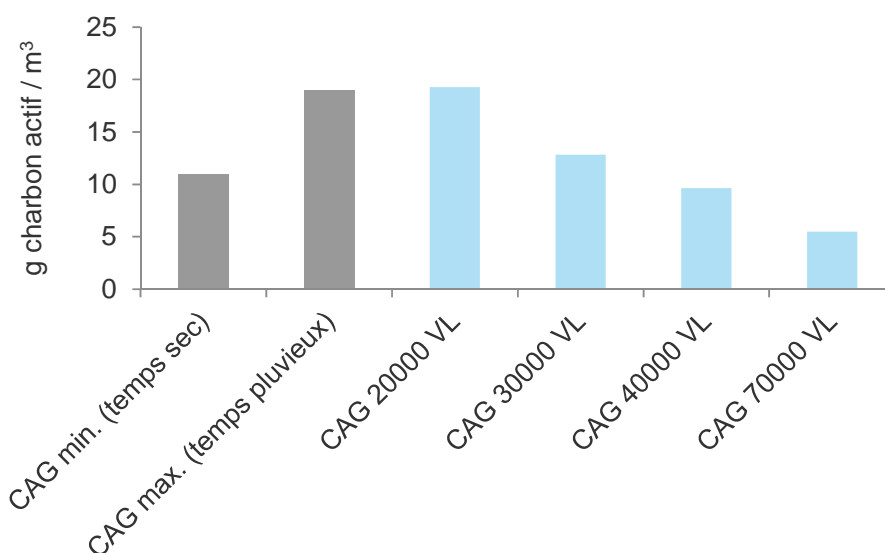


Figure 9. Dose spécifique requise de CAP pour obtenir une élimination de 80% des substances à mesurer (Obrecht et al., 2015) et dose de CAG calculée à l'aide du nombre de VL traités dans une cellule filtrante CAG.

6 CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les études sur l'élimination des micropolluants par le charbon actif en granulés (CAG) réalisées à l'échelle industrielle à la STEP de Bülach-Furt permettent de tirer le bilan (intermédiaire) suivant:

- La filtration au CAG s'est révélée être un procédé approprié pour éliminer les composés traces des eaux usées communales.
- Le taux d'élimination atteint ainsi que les durées de vie obtenues révèlent que le procédé peut être exploité avec une consommation comparable voire légèrement plus faible de charbon actif (par m³ d'eaux usées traitées) comparée au charbon actif en poudre (avec des concentrations plus faibles de COD et de substances solides sur le filtre).
- Le temps de contact (EBCT) s'est révélé être un paramètre d'exploitation déterminant: ainsi, un rendement d'élimination moyen des 12 substances indicatrices de plus de 80% a pu être atteint après 35'000 VL avec un EBCT suffisamment élevé (≥ 25 minutes).
- Un renouvellement échelonné dans le temps des cellules filtrantes de CAG (c'est-à-dire une régénération étalée dans le temps des différentes cellules de CAG) permet d'obtenir des durées de vie supérieures. Mais il n'est pas encore possible de tirer des conclusions suffisamment étayées sur le nombre de VL qui pourront être traités. Par ailleurs, il convient de remarquer que l'élimination par temps de pluie détermine le moment de la réactivation de la cellule la plus ancienne.
- Les mesures CAS₂₅₄ réalisées en laboratoire ou à l'aide de sondes en ligne conviennent au contrôle du rendement de l'élimination et de l'état de saturation du CAG dans les cellules filtrantes.

La suite du projet en 2017 devra permettre d'étudier l'évolution du comportement d'élimination des différentes substances à mesurer dans la filtration au CAG. L'objectif est de traiter le nombre maximal réalisable de VL avec les EBCT donnés.

Par ailleurs, l'exploitation d'une ozonation combinée à la filtration au CAG dans la STEP de Bülach-Furt doit être étudiée dans la suite du projet à partir de mai 2016.

7 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Obrecht, J., Thomann, M., Stoll, J.-M., Frank, K., Sobaszekiewicz, M., Boller, M., Freisler, P. (2015). PAK-Dosierung ins Belebungsverfahren, Alternative zur nachgeschalteten Pulveraktivkohleabsorption, Aqua&Gas 2/2015: 20 - 32

Bitterwolf, S., Böhler, M., Siegrist, H., Joss, A. (2017). Elimination von Spurenstoffen durch granuliert Aktivkohle (GAK) Filtration: Grosstechnischen Untersuchungen auf der ARA Bülach-Furt. Zwischenbericht, Dübendorf. Disponible sur demande auprès de la plateforme VSA «Techniques de traitement des micropolluants» (info@micropoll.ch).

Benstöm, F., Nahrstedt, A., Böhler, M., Knopp, G., Montag, D., Siegrist, H., Pinnekamp, J. (2016a). Leistungsfähigkeit granulierter Aktivkohle zur Entfernung organischer Spurenstoffe aus Abläufen kommunaler Kläranlagen – Ein ReView halb- und großtechnischer Untersuchungen – Teil 1: Veranlassung, Zielsetzung und Grundlagen, Korrespondenz Abwasser, Abfall (KA), Nr. 3, 187-192.

Benstöm, F., Nahrstedt, A., Böhler, M., Knopp, G., Montag, D., Siegrist, H., Pinnekamp, J. (2016b). Leistungsfähigkeit granulierter Aktivkohle zur Entfernung organischer Spurenstoffe aus Abläufen kommunaler Kläranlagen – Ein ReView halb- und großtechnischer Untersuchungen – Teil 2: Methoden, Ergebnisse und Ausblick, Korrespondenz Abwasser, Abfall (KA), Nr. 4, 276-289.

Böhler, M., Wittmer, A., Heisele, A., Wohlhauser, A., Salhi, L., Gunten, U. von, Siegrist, H., Mc Ardell, C., Longrée, P., Beck, B. (2012). Ergänzende Untersuchungen zur Elimination von Mikroverunreinigungen auf der ARA Neugut, Bericht der Eawag, Dübendorf.

Böhler, M., Blunsi, M., Czekalski, N., Fleiner, J., Imminger, S., Kienle, C., Langer, M., Werner, I., Mc Ardell, C.S., Teichler, R., Siegrist, H. (2017). Biologische Nachbehandlung von kommunalem Abwasser nach Ozonung - ReTREAT, Abschlussbericht für das Bundesamt für Umwelt (Bafu) im Rahmen eines Projektes der Technologieförderung, Eawag, Dübendorf.

Plateforme VSA «Techniques de traitement des micropolluants» (2016). Concepts de surveillance de l'efficacité d'épuration des étapes de traitement supplémentaires permettant l'élimination des micropolluants. Disponibles sur www.micropoll.ch