



Plateforme

«Techniques de traitement des micropolluants»

Eawag:

L'Institut de Recherche de l'Eau du Domaine des EPF

Document de synthèse suite au workshop du 9.12.2019 à l'Eawag

Notice explicative pour la planification et le dimensionnement de filtres à charbon actif en grains (CAG) rétrolavés discontinuellement pour l'élimination des composés traces organiques dans les eaux usées communales

Ce document résume l'état des connaissances actuelles sur la base des résultats obtenus lors du workshop du 9.12.19 concernant la filtration sur charbon actif en grains. Il pourra être complété, si besoin, afin de prendre en compte l'évolution des connaissances. Les auteurs ne prétendent pas à l'exhaustivité.

Organisation du workshop: Böhler M., Joss A., McArdell C. (Eawag), Meier A. (VSA)¹

Participants au workshop:

- *Bureaux de conseil et de planification: Alt K. (Hydro-Ingenieure, D), Baggenstos M. (Hunziker, CH), Benstöm F. (atd GmbH, D), Bitterwolf S. (Kuster und Hager, CH), Fux C. (TBF, CH), Le Goaziou Y. (BG, CH), Lehmann P. (Triform, CH), Löwenberg J. (CSD, CH), Salzgeber D. (Holinger, CH), Thomann M. (anc. Holinger, CH ; act. FHNW)*
- *Exploitants de STEP: Biermann K. (STEP de Glaris, CH), Preisig W. (STEP REAL, CH)*
- *Recherche: Böhler M. (Eawag, CH), Fundneider T. (TU Darmstadt, D), Hernandez A. (Eawag, CH), Joss A. (Eawag, CH), McArdell C. (Eawag, CH), Nahrstedt A. (IWW, D), Siegrist H. (anc. Eawag, CH)*
- *Office fédéral de l'environnement: Dominguez D. (section Protection des eaux, CH)*
- *VSA: Abegglen C. (VSA, STEP de Werdhölzli, CH), Grelot J. (plateforme VSA, CH), Meier A. (plateforme VSA, CH)*

Contexte

La filtration à lit profond sur charbon actif en grains (CAG) est un procédé visant à éliminer les composés organiques dissous des eaux polluées et peut également être utilisée dans les stations d'épuration (STEP) pour éliminer les composés traces organiques. Du point de vue technique, la filtration sur CAG est très similaire à la filtration sur sable.

¹ Citation proposée:

Böhler M., Joss A., McArdell C., Meier A. (2020). Notice explicative pour la planification et le dimensionnement de filtres à CAG rétrolavés discontinuellement pour l'élimination des composés traces organiques dans les eaux usées communales. Document de synthèse suite au workshop du 9.12.2019 à l'Eawag avec la participation d'experts venus de Suisse et d'Allemagne, Eawag et VSA, Dübendorf.

Au cours des dernières années, d'importants essais pilotes ont été menés en Suisse, comme en témoignent les études réalisées dans les STEP de Bülach et de Glaris. Un certain nombre de projets à échelle industrielle avec du CAG sont en cours de planification (p. ex. à la STEP de Muri) ou déjà mis en service (à la STEP d'Altenrhein, en combinaison avec une ozonation). Par ailleurs, diverses filtrations sur CAG sont en service depuis plusieurs années en Allemagne et le nombre de filtrations sur CAG planifiées ne cesse d'augmenter. L'expérience dans ce domaine est donc amenée à se développer rapidement.

L'intérêt croissant de la part des exploitants et des ingénieurs pour cette technologie s'explique par sa simplicité de mise en œuvre technique et sa rentabilité. Ces derniers ont besoin de recommandations pour le dimensionnement des filtres à CAG.

Dans ce contexte, des experts suisses et allemands issus de la pratique et de la recherche se sont réunis à l'Eawag lors d'un workshop, afin de rassembler les connaissances relatives au dimensionnements de filtres à CAG acquises lors des différents projets. Les principaux résultats de cette rencontre sont résumés dans le présent document.

Seule la filtration à lit profond sur CAG rétrolavée discontinuellement est traitée ici. D'autres procédés au CAG, comme les filtres à CAG rétrolavés continuellement ou le CAG en lit fluidisé, présentent des différences substantielles en matière de mise en œuvre technique et ne seront donc pas abordés ici.

Exigences légales, recommandations relatives au taux d'épuration et surveillance

En Suisse, l'élimination des composés traces dans les STEP est fixée par la loi. En Allemagne, l'élimination des composés traces n'est soumise à aucune exigence légale, mais des recommandations sont formulées par les états de Rhénanie-du-Nord-Westphalie (NRW) et du Bade-Wurtemberg (BW). Le présent document se concentre sur les exigences légales appliquées dans les STEP suisses. Un taux d'épuration d'au moins 80 % des 12 substances de référence (ou une sélection de ces dernières) par rapport aux eaux usées brutes doit être respecté (pour des informations détaillées sur la procédure et le calcul du taux d'épuration, voir ce [lien](#)). C'est là une différence importante entre la législation suisse et les exigences allemandes.

Le taux d'épuration est déterminé à l'aide d'échantillons composites sur 48 h. Cependant, chaque année, un certain nombre de dépassements peuvent être admis en fonction de la taille de la STEP, conformément à l'annexe 3.1, ch. 42, OEaux. Par conséquent, les affirmations ci-dessous ne sont pas forcément transposables telles quelles à d'autres pays dont les exigences relatives à l'élimination des composés traces peuvent différer de la Suisse.

En Allemagne, un principe similaire est appliqué dans certains états. Le tableau 1 présente les substances de référence utilisées actuellement en Suisse pour le suivi de l'élimination des composés traces, mais aussi celles utilisées par les états de NRW et du BW. Les exigences relatives au suivi de l'élimination des composés traces sont propres à chaque état en Allemagne.

Tableau 1: Substances de référence pour le contrôle du taux d'épuration des micropolluants (situation en 2019)

| Groupe de substances | Suisse | Rhénanie-du-Nord-Westphalie | Bade-Wurtemberg |
|----------------------------|----------------------|-----------------------------|---------------------|
| Substances médicamenteuses | Amisulpride° | | |
| | Carbamazépine° | Carbamazépine | Carbamazépine |
| | Candésartan* | | |
| | Citalopram° | | |
| | Clarithromycine° | Clarithromycine | |
| | Diclofénac° | Diclofénac | Diclofénac |
| | Hydrochlorothiazide° | | Hydrochlorothiazide |
| | Irbésartan* | | Irbésartan |
| | Métoprolol° | Métoprolol | Métoprolol |
| | | Sulfaméthoxazole | |
| | Venlafaxine° | | |
| Agent anticorrosion | Benzotriazole* | Benzotriazole | Benzotriazole |

| | ∑ 4+5-méthylbenzotriazole* | | ∑ 4+5- méthylbenzotriazole |
|------------------|---|---|--|
| Remarques | Classement des substances: ° «Très facilement éliminable» * «Facilement éliminable» | Brochure sur le dimensionnement du KOM-M.NRW: Guide pour la planification et le dimensionnement d'installations visant à éliminer les micropolluants, 2 ^e édition (2016) | « Recommandations d'action pour le contrôle comparatif et l'exploitation de procédés visant à éliminer les composés traces de manière ciblée» (2019) |

Dimensionnement des filtres à CAG

Le **temps de contact hydraulique du filtre** (dénomination anglaise: Empty Bed Contact Time, EBCT)² est la principale valeur de dimensionnement de la filtration sur CAG. Le temps de contact ne devrait pas descendre en-dessous de 20 minutes lors de l'exploitation de (n-1) filtres, c'est-à-dire avec une cellule filtrante hors service (révision/réactivation/rétrolavage) et par débit maximal (temps de pluie).

La **hauteur du lit filtrant et les vitesses de filtration** sont d'autres paramètres importants. Ces deux valeurs sont étroitement liées entre elles et définies par le temps de contact et la surface filtrante.

La hauteur du lit filtrant doit se situer entre 1.5 m et env. 2.5 m. Un filtre ayant une granulométrie de CAG fine et hétérogène aura tendance à développer une filtration de surface. Il est donc recommandé d'utiliser de faibles hauteurs de lit pour des eaux usées chargées en matières en suspension (il en résulte une plus grande surface filtrante) et des hauteurs de lit plus élevées pour des eaux usées peu chargées en matières en suspension. Il convient de trouver la combinaison optimale de hauteur de lit/hauteur de média, de surface filtrante résultante ainsi que de granulométrie (adaptée à la charge de matières en suspension). Une hauteur de lit filtrant élevée implique des ouvrages de grande taille et une planification spécifique des équipements électromécaniques. Du temps de contact et de la hauteur du lit filtrant résultent des vitesses de filtration comprises entre 4 et 7 m/h (pour n-1 cellules).

Un **nombre minimum de 4 cellules filtrantes** (incluant la cellule de réserve pour la réactivation et les révisions) permet une adaptation du fonctionnement de l'installation en fonction du débit entrant (mise en marche lors d'une augmentation de débit ou arrêt de cellules filtrantes lors d'une diminution de débit). La cellule de réserve doit être incluse au régime d'exploitation de manière à ce que toutes les cellules filtrantes soient en service à intervalles réguliers pour conserver une activité biologique élevée.

Le dimensionnement des cellules filtrantes doit être adapté à la capacité de chargement des camions qui amènent ou évacuent le CAG. Ce faisant, il convient de noter que le CAG humide a un poids deux fois plus élevé que le CAG sec.

Les retours d'expériences actuels montrent que des **durées de vie** d'environ 20 000 à 30 000 volumes de lit³ par cellule filtrante permettent de respecter un taux d'épuration de 80% d'élimination sur l'ensemble du processus de filtration. Ceci implique un renouvellement du CAG échelonné dans le temps, c'est-à-dire que les cellules contenant du CAG « frais » présentent un taux d'élimination plus élevé, tandis que le taux d'élimination des cellules déjà fortement chargées est inférieur à 80%. La durée de vie du CAG est largement influencée par la teneur en COD en entrée de filtration.

La **granulométrie** adéquate du CAG dépend de la concentration en MES de l'affluent et donc du traitement préalable (p. ex. après la filtration ou le traitement biologique), comme indiqué dans le tableau 2. En règle générale, il convient de viser une concentration en MES la plus faible possible. Pour un même type de CAG, une granulométrie plus fine présente une surface de grain plus élevée ce qui conduit à un meilleur échange de substances vers l'intérieur du grain et devrait donc permettre des temps de contact plus faibles.

² Le **temps de contact hydraulique du filtre** (EBCT) est défini comme étant le volume du lit filtrant (surface de la cellule filtrante * hauteur du lit filtrant) divisé par le débit entrant. Cela suppose que les filtres sont parcourus à une vitesse homogène. Le temps de contact effectif dans le lit est donc beaucoup plus faible, car le volume du CAG est fixé à zéro pour l'EBCT par souci de simplification.

³ Le nombre de volumes de lit traités correspond au nombre total de m³ d'eaux usées traitées divisé par le volume total du lit filtrant (surface filtrante multipliée par la hauteur du lit de CAG).

Tableau 2: La granulométrie adéquate du CAG dépend de la concentration en MES en entrée de la filtration.

| Concentration MES [mg/l] | Granulation CAG [mm] | US Mesh CAG |
|--------------------------|----------------------|-------------|
| < 5 | 0.6 – 2.4 | 8 * 30 |
| 5 – 10 | 0.8 – 2.0 | 10 * 20 |
| > 10 | 1.2 – 2.4 | 8 * 16 |

Jusqu'ici, la plupart des filtres CAG étaient des ouvrages en béton sous forme de **filtres gravitaires** à ciel ouvert. Des filtres fermés, sous forme de cuves en acier, à courant descendant (appelés **filtres sous pression**) sont désormais également utilisés. Ils peuvent être installés hors-sol dans des structures légères. Outre la flexibilité et la facilité des opérations de vidange/remplissage, cette solution présente d'autres avantages (p. ex. possibilités de correction en cas d'affaissement du sol, extensibilité, plus grande flexibilité grâce au retardement du lavage en cas d'avarie rendu possible par une réserve de pression à disposition).

Lorsque les débits entrants sont sensiblement plus élevés que le débit temps sec, le taux d'épuration baisse en raison d'une dilution plus importante et de la réduction du temps de contact (EBCT).

Afin de compenser une **diminution de performance dans l'élimination des composés traces** en cas de débit élevé (par temps de pluie), les mesures opérationnelles ou les combinaisons suivantes peuvent être mises en œuvre:

- Mise en place d'une pré-ozonation⁴
- Mise en place d'un dosage de CAP supplémentaire dans la biologie
- Dosage de CAP avant la filtration sur CAG (pas encore d'expérience à ce sujet)
- Gestion des eaux pluviales dans le bassin versant (plan général d'évacuation des eaux, contrôle des volumes d'eau à acheminer, déversoirs d'orage...)

Autres aspects

- Avec des filtres à CAG à courant ascendant, il est nécessaire de rajouter une couche de support sur les buses filtrantes avec une largeur de fente plus importante. Cela ne concerne pas les filtres à courant descendant, sur lesquels la largeur de fente des buses filtrantes peut être adaptée à la granulométrie du CAG.
- En principe, il est possible de transformer des filtres à sable existants en filtres à CAG. Mais il convient de s'assurer que les temps de contact proposés sont respectés grâce à des adaptations (p. ex. augmentation de la hauteur de remplissage du matériau filtrant, augmentation de la taille du filtre) et que les équipements électromécaniques tel que les éléments permettant le lavage à l'air et à l'eau du CAG sont appropriés (les vitesses de lavage sont beaucoup plus faibles avec des filtres CAG).
- Il n'est pas recommandé de combiner la filtration sur CAG avec une précipitation de phosphate (filtration par floculation). La précipitation conduit à des dépôts inertes (produits de précipitation) sur le charbon ce qui affecte la réactivation du charbon. De plus, les produits de la précipitation et de la floculation augmentent considérablement la concentration de matières solides sur les filtres (charge volumique plus importante). On s'attend à ce qu'un rétrolavage plus fréquent soit donc nécessaire.
- L'efficacité d'adsorption et la durée de vie du CAG réactivé sont équivalentes à celles du charbon frais. Le CAG réactivé est toutefois plus économique et présente une empreinte carbone beaucoup plus faible.
- La sélection des substances pour contrôler le taux d'épuration des micropolluants peut avoir une influence sur la durée de vie/le volume de lits atteignable.
- Le lavage des filtres a un rôle important à jouer. Après un premier lavage, la masse volumique apparente augmente d'env. 15% (classification). Ce point doit être pris en compte lors de l'appel d'offres et de la facturation. Un lavage optimal est atteint avec une expansion de lit d'env. 25%. La granulométrie et la masse spécifique du CAG doivent être pris en compte dans ce cadre-là ainsi que lors de la détermination des hauteurs de construction. Le nombre de lavages doit être minimisé, afin de réduire autant que possible

⁴ Si les eaux usées sont adaptées à une ozonation conformément à la recommandation du VSA « Vérifications relatives à l'adéquation du processus d'ozonation », www.micropoll.ch

la production d'eaux de lavage et l'abrasion du charbon (la dureté du charbon doit être prise en compte).

- Le rétrolavage à l'air du matériau filtrant génère une force de cisaillement élevée sur les grains de charbon actif. Cela entraîne une abrasion et donc des pertes de charbon actif. Dans ce contexte, la dureté du CAG sélectionné ne doit pas être trop faible.
- Le moment optimal pour remplacer le CAG des différentes cellules peut être évalué à l'aide des volumes de lit. La mesure du CAS₂₅₄ (en ligne ou en laboratoire) peut également être utilisée à cet effet. Elle sert aussi à contrôler le taux d'épuration. Les essais pilotes n'ont toutefois pas encore permis d'obtenir des résultats probants.

État du procédé

Les participants au workshop s'accordent à dire que les filtres à CAG sont adaptés à l'élimination des composés traces selon la législation suisse. Certaines questions en suspens, notamment sur la rentabilité et le taux d'épuration en cas de pluie, n'ont toutefois pas encore été entièrement élucidées. Ces points seront clarifiés grâce aux expériences d'exploitation.

Bilan et recommandations

- En principe, les filtres à CAG sont appropriés à l'élimination des composés traces selon la législation suisse. Ils sont techniquement et économiquement réalisables et se sont révélés adaptés à la pratique.
- Pour ce faire, ils doivent présenter un temps de contact d'au moins 20 minutes par débit maximal. Ce dimensionnement plutôt généreux est actuellement pertinent, du moins pour les premières installations exploitées à l'échelle industrielle en Suisse.
- Le taux d'épuration en cas de pluie et les durées de vie résultantes pendant l'exploitation doivent être observés et documentés dans les premières installations réalisées à l'échelle industrielle. Des conclusions seront tirées pour de futurs projets sur la base de ces expériences.