

Fiche d'information – Etat actuel CAG en lit fluidisé

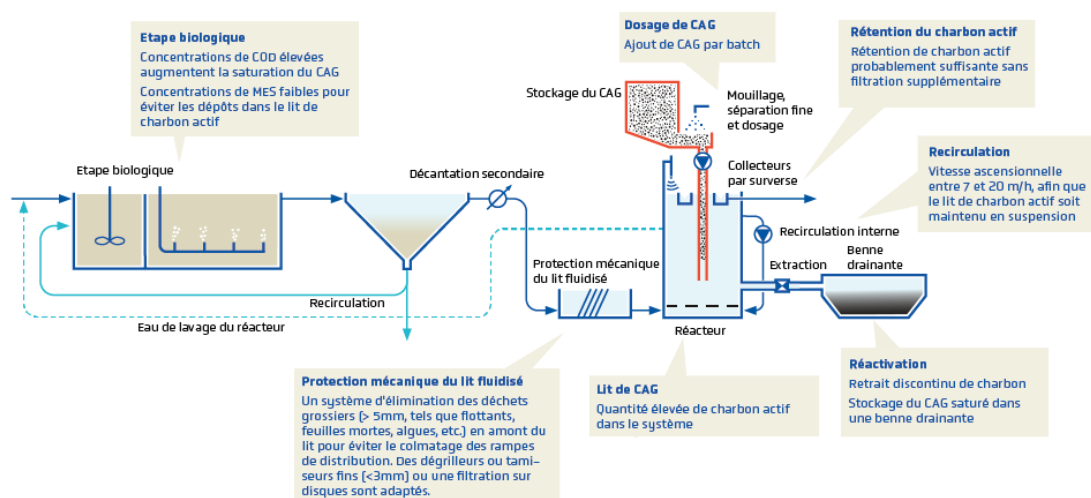
Ce document résume l'état actuel du procédé charbon actif en grain (CAG) en lit fluidisé pour l'élimination des micropolluants dans les STEP. Son contenu se base en grande partie sur les expériences sur la STEP de Penthaz et les résultats d'un atelier tenu le 20 décembre 2021, avec divers participants et participantes :

- **Ingénieurs:** Albers S. (CSD), Baggenstos M. (Hunziker), Casazza R. (Triform), Le Goaziou Y. (BG), Horisberger M. (Triform), Lambert M. (CSD), Margot J. (RWB), Rieck T. (Gujer), Schneider L. (Holinger)
- **Fournisseurs:** Fleiner J. (Techfina), Morgado A. (Stereau), Zöllig H. (Wabag)
- **Recherche:** Joss A. (Eawag), Thomann M. (FHNW)
- **Office fédérale de l'environnement :** Liebich C. (Section protection des eaux)
- **VSA:** Brander A., Eugster F., Tamà N. (Plateforme «Techniques de traitement des micropolluants»)

Contexte

Jusqu'à présent, deux installations avec CAG en lit fluidisé ont été mises en service en Suisse à la STEP de Penthaz ([1] et [2]) et à la STEP de Delémont. Onze autres projets sont en cours de planification ou de construction. Nous disposons donc que de connaissances limitées sur la conception et l'exploitation de ce procédé en Suisse. Cette fiche technique fait le point sur l'état actuel des expériences et sera actualisée dès que plus d'information sera disponible. Les chiffres clés présentés correspondent au procédé CarboPlus® (SAUR/STEREAU). Ceux-ci peuvent changer pour d'autres systèmes et ne doivent pas être mélangés entre eux. D'autres procédés se trouvent encore dans la phase de pilotage.

Schéma



Le réacteur avec CAG en lit fluidisé est installé en aval du traitement biologique, plus précisément, en aval de la clarification secondaire. Plus d'informations sur la [description du procédé](#) et les [réalisations techniques à grande échelle](#) avec leur date de mise en service sont disponibles sur le site Internet de la plateforme (www.micropoll.ch).

Etat du procédé

Le CAG en lit fluidisé est un procédé pertinent pour le traitement des micropolluants des eaux usées. Il est de plus en plus utilisé en Suisse. Le procédé est actuellement en service dans deux stations d'épuration et en phase de test dans plusieurs autres installations. Il est donc en voie de devenir un procédé standard.

Dimensionnement basé sur l'expérience de la STEP de Penthaz

Les principaux paramètres de dimensionnement des réacteurs avec CAG en lit fluidisé sont la vitesse de passage, la quantité de charbon dans le lit et la gestion des injections et extractions du charbon. La STEP de Penthaz a 12'000 habitants raccordés et est dimensionnée pour 15'000 EH. L'expérience de cette STEP montre que le lit fluidisé est maintenu en suspension dans le réacteur à une vitesse d'écoulement comprise entre 7 et 17 m/h. Celle-ci dépend du charbon utilisé. Grâce à sa densité spécifique et sa granulométrie moyenne d'env. 0.5 mm, le CAG reste dans le réacteur de contact par gravité. La hauteur du lit se situe entre 1.5 – 1.7 m en repos et entre 2.0 – 2.6 m en expansion. Pour comparer différents projets, la hauteur du lit au repos est plus appropriée. Le temps de contact avec le lit au repos est de cinq à quinze minutes. Cette plage de valeurs n'a pas encore été étudiée en détail. Elle est seulement utilisée comme indicateur, à titre comparatif avec d'autres procédés, et pas comme valeur de dimensionnement. En effet, le temps de contact est calculé sur le même principe que l'empty bed contact time (EBCT) pour le filtre CAG. Il dépend de la vitesse de passage et de la hauteur de l'expansion du lit, ce qui implique une plus grande variabilité. De même, la relation entre l'élimination des micropolluants et le temps de contact doit être analysé plus en détail.

Le nombre optimal et la taille des cellules sont déterminés au cas par cas. Cela dépend entre autres de l'emprise au sol, des dimensions du bâtiment et des coûts. En plus, selon les circonstances, la recirculation interne peut être évitée.

Une protection mécanique en amont du réacteur est fortement conseillée pour éviter le passage de grosses particules vers le lit fluidisé. Cette étape n'est toutefois pas indispensable si le système en amont et la disposition des ouvrages fait qu'aucun élément grossier ne peut entrer dans le flux d'eau à traiter. Feuilles, algues ou autres déchets peuvent s'accumuler sur les canaux en sortie de l'étape de traitement biologique et colmater les rampes de distribution des lits fluidisés. Plusieurs possibilités peuvent être mises en place : différents types de dégrilleurs ou tamiseurs fin (<3mm) (comme installé à la STEP de Delémont), ou des systèmes de filtration sur disques (mis en œuvre sur la STEP de Penthaz) par exemple.

Aspects de l'exploitation

- Du charbon actif frais est ajouté par batch à intervalles réguliers dans le réacteur, par exemple une fois par jour. La quantité ajoutée peut varier selon les besoins et dépend notamment du

débit traité dans l'installation lors des dernières 24 heures. Lors de l'ajout de charbon frais, il convient de veiller à ce que les particules fines soient préalablement séparées, afin qu'elles ne parviennent pas dans le milieu récepteur. Le temps de séjour moyen du charbon actif CarboPlus dans le système est d'environ 100 à 200 jours, mais varie en fonction du débit à traiter et du dosage de CAG appliqué. À la STEP de Penthaz, l'âge du charbon peut atteindre jusqu'à 300 jours en effectif.

L'extraction du charbon actif usagé du réacteur a lieu de manière discontinue. Ce charbon actif usagé, chargé en micropolluants, est stocké dans un conteneur drainant avant sa reprise pour être régénéré. Lors de la régénération, une partie du CAG est perdue. Ainsi, du CAG frais doit être ajouté. La quantité à compléter est appelée « quantité de make-up ». Elle dépend du type de CAG et peut varier. Dans le cas de Penthaz, le fournisseur annonce un make-up de 10%, ce qui signifie que le CAG peut être recyclé environ 10 fois.

- Nous recommandons actuellement de surveiller la part de matières solides en sortie des STEP avec un traitement des micropolluants par charbon actif dans diverses conditions d'exploitation. Des mesures de MES et de turbidité ou des mesures directes de pertes de CA peuvent être utilisées à cette fin. À la station d'épuration de Penthaz, la rétention de charbon actif semble suffisante et une filtration supplémentaire n'est pas nécessaire. Cette STEP connaît des concentrations basses de MES < 5mg/L à l'entrée du système CAG. Si celles-ci sont plus élevées, une expansion plus importante du lit de charbon actif est possible. Si la hauteur du lit n'est pas réduite, cela peut conduire à des pertes de charbon actif en sortie. Une surveillance continue de la hauteur du lit de charbon actif est donc nécessaire et des mesures du CA dans l'effluent doivent être effectuées plus fréquemment. Plus d'informations sont disponibles dans une [fiche d'information](#) [3].
- Une concentration élevée de MES en sortie du traitement biologique engendre une accumulation dans le lit de charbon actif et une augmentation de la hauteur du lit. Ainsi, du CA est enlevé pour réduire la hauteur du lit, ce qui peut avoir des impacts préjudiciables sur le taux d'épuration du procédé. Il est possible de limiter l'accumulation de MES dans le lit de charbon actif à l'aide d'un lavage à l'eau mensuel et routinier. Il est donc recommandé de prévoir des possibilités de lavage préventifs ou curatifs.
- Selon les premières expériences de la STEP de Penthaz, la dose de CA est d'environ 2 g CA/g COD. Il faut tenir compte du fait que seulement six analyses de COD annuelles existent dans ce cas, ce qui n'est pas très représentatif et doit être pris en compte pour l'interprétation de cette donnée. Plus d'expériences sont nécessaires pour tirer des conclusions. En plus, le type de CAG, la matrice des eaux usées et la stratégie de dosage influencent aussi la consommation spécifique de CAG, qui peut varier d'une installation à l'autre.
- Des photomètres mesurant l'absorbance UV à 254 nm peuvent être installés à l'entrée et la sortie de l'étape micropolluant. Ils fournissent un bon point de repère pour savoir si l'installation fonctionne dans la plage habituelle grâce à la valeur delta-UV [4]. Celle-ci permet généralement de détecter les perturbations et d'ajuster le dosage. Cependant, les expériences faites jusqu'à présent montrent qu'il n'est pas encore possible de régler un dosage exact de CA en fonction de ces valeurs. D'autres tests plus approfondis sont en effet nécessaires pour connaître le potentiel de cet outil dans le futur. Il est recommandé de discuter du nombre et de l'utilisation des sondes UV lors de la conception et des implications au niveau de l'exploitation.

- Sur la base de l'expérience à la STEP de Penthaz, les constats suivants ont été faits :
 - Il est important de vérifier et adapter si besoin les fréquences et volumes des batches de CA lors des temps de pluie pour ne pas prendre de «retard» sur le dosage du CA.
 - Lors des corrections de dosage manuelles suite à une diminution de l'abattement UV, le temps de réaction pour retrouver l'état initial peut être relativement long : l'expérience montre qu'il faut environ une semaine à l'exploitant pour réagir. L'impact de la mise en œuvre de mesures automatiques, telle qu'une boucle de régulation par exemple, sur le temps de réaction minimal du procédé n'a pas été étudié. Cette technique pourrait être intéressante à implémenter pour les STEP qui ont de fortes fluctuations de la qualité des eaux, avec des apports industriels par exemple.
 - Les premières expériences montrent qu'une anticipation des périodes pluvieuses ou à forts débits peut être pertinente. Ceci peut être le cas avec la fonte des neiges ou lors de mois à pluviométrie élevée. Ainsi, une augmentation préventive du dosage et/ou de la hauteur du lit de charbon peut être envisagée en hiver – aussi à cause des températures froides.
 - Les possibilités d'optimisation se situent au niveau de l'adaptation des dosages ou de la modification de la hauteur du lit sur une période prolongée.
- Si les conditions de rejet nécessitent une élimination supplémentaire du phosphore, celle-ci doit être réalisée via une filtration séparée, soit en amont, soit en aval du CAG en lit fluidisé. Une filtration en aval est à privilégier. Cela permet d'éviter une perte de qualité du CAG due à l'accumulation de coagulant sur le charbon. De plus, le CAG en lit fluidisé a un faible effet filtrant sur les particules coagulées et ne provoquerait pas l'effet désiré.
- Les aspects de sécurité liés à l'utilisation du charbon actif en poudre sont décrits dans [5] et peuvent en partie être appliqués à ce procédé. Les exigences de sécurité (contraintes ATEX) sont toutefois moins élevées que pour les procédés charbon actif en poudre. En effet, la quantité de poussière pouvant être en suspension dans l'air et créer un risque d'explosion est plus petite.
- L'expérience montre que le temps de maintenance/suivi est d'environ une heure par semaine. La hauteur du lit de charbon au repos doit être contrôlée environ une fois par semaine. Le contrôle de la hauteur du lit de charbon en expansion doit être effectué avec différentes vitesses d'expansion. Ces mesures peuvent être automatisées. À la STEP de Penthaz, le silo (25 m³) doit être rempli environ 3-4 fois par an, ce qui prend environ une matinée.
- L'utilisation d'un seul système de dosage (préparante, défilage, hydrojecteur) comme à la STEP de Penthaz ne permet pas une injection active redondante des batches de charbon actif. La résilience du système est cependant grande (masse importante de CAG dans les lits) et l'arrêt du dosage sur une période limitée n'impacte pas fortement le taux d'abattement des micropolluants.
- Considérant que les prérogatives des petites STEP avec moins de 10'000 équivalents-habitants sont la minimisation des coûts de personnels en se servant d'un haut degré d'automatisation et la réduction des situations incertaines, le CAG en lit fluidisé est, par rapport à l'ozonation et au CAP, un procédé qui répond mieux à ces besoins. Par rapport aux filtres statiques à CAG, le système permet aussi une meilleure adaptation à la pollution par la maîtrise du dosage et de l'âge du charbon dans les cellules, ainsi que de maîtriser au mieux les coûts d'exploitations. Toutefois, compte tenu de leur simplicité, du moindre risque et de leur coût d'entretien, les

filtres statiques à CAG restent a priori la meilleure solution pour les petites STEP. Cependant, comme le procédé CAG en lit fluidisé n'est encore utilisé que dans deux usines, les expériences futures pourraient modifier cette recommandation.

- Les essais pilotes réalisés à la STEP de SITSE avec un OPACARB FL de OTV/VEOLIA testent un procédé similaire permettant d'aller à des vitesses plus élevées (20 à 40 m/h) que le procédé utilisé à la STEP de Penthaz. Un charbon et un dimensionnement différents permettent d'atteindre ces vitesses. Un pack lamellaire est rajouté en sortie de traitement pour retenir les fines de charbon. Les MES, grâce à la vitesse plus élevée et, par conséquent, une plus grande fluidisation du charbon actif, sont moins bloquées dans le lit de charbon actif ce qui réduit le nombre de contre-lavage. Les résultats de ces essais seront publiés à la fin de l'année 2022.

Questions ouvertes

- Il n'existe que peu de fournisseurs de CA pour ce procédé. Il y a donc une incertitude sur le choix à l'avenir. De plus, l'expérience avec du CAG à base de matière première renouvelable fait défaut, seules des connaissances avec du CA fossile sont actuellement disponibles. Le produit utilisé « microCAG » à granulométrie restreinte est un produit spécial adapté au marché des eaux usées et de l'eau potable. Le dimensionnement de la STEP de Penthaz qui a été traité dans cette fiche technique se réfère en fait à un produit spécifique.
- Il n'existe pas encore de procédure uniforme pour l'assurance qualité des livraisons de CA, ce qui est un risque d'exploitation et économique.
- Il n'a pas encore été possible de déterminer de manière définitive si la rétention du charbon actif par ce procédé est suffisante sans filtration ultérieure. Un pré-lavage soigneux du charbon actif permet-il de réduire la perte de CA ? La méthode d'analyse de la concentration en charbon actif à la sortie de la STEP a été optimisée [6]. Les futures mesures effectuées avec celle-ci fourniront des données encore plus précises sur la rétention du charbon actif.
- La mise à l'échelle de petites à grandes installations nécessite des adaptations. Des incertitudes et des risques doivent être pris en compte. Les expériences d'exploitation rassemblées jusqu'à maintenant ne sont disponibles que pour une petite installation.
- Il manque encore des expériences à long terme sur le fonctionnement par temps de pluie et, plus généralement, sur les stratégies de régulation.

Conclusions

- Le CAG en lit fluidisé constitue une alternative de plus en plus utilisée.
- Les premières expériences d'exploitation de la STEP de Penthaz sont prometteuses.
- Il reste plusieurs questions ouvertes qui pourront être abordées de manière ciblée lors des prochaines mises en œuvre ou dans le cadre d'un projet de recherche.
- La nécessité d'une filtration supplémentaire doit être vérifiée par d'autres mesures de CA dans l'effluent avec la méthode optimisée.

Littérature complémentaire

- [1] Grelot, J., Horisberger, M., Casazza, R. (2021) : Elimination des micropolluants par CAG en lit fluidisé – expériences d’exploitation de la STEP de Penthaz. Aqua et Gas, 01/21, www.micropoll.ch.
- [2] Horisberger, M., Casazza, R. (2018) : Essais pilotes – charbon actif en grain en lit fluidisé – procédé CarboPlus® : rapport final, www.micropoll.ch.
- [3] Plateforme VSA «Techniques de traitement des micropolluants» (2019) : Evaluation de la rétention de charbon actif – état actuel. Fiche d’information de VSA. www.micropoll.ch
- [4] Plateforme VSA «Techniques de traitement des micropolluants» (2018) : Expériences avec les sondes UV/VIS pour surveiller l’élimination des composés traces dans les stations d’épuration. www.micropoll.ch
- [5] Plateforme VSA «Techniques de traitement des micropolluants» (2016) : Aspects de sécurité relatifs à la manipulation de charbon actif en poudre (CAP) dans les stations d’épuration, www.micropoll.ch
- [6] Schlussbericht FHNW zur Optimierung TGA, planifié pour octobre 2022