

## Dosage de CAP dans des systèmes à biofilm

### 1. Contexte

Lorsque l'[article](#) «Élimination des micropolluants dans les STEP: état actuel des procédés et évolutions futures» fut publié dans Aqua&Gas en janvier 2018, il n'était pas clair dans quelle mesure le dosage de charbon actif en poudre (CAP) dans un système à biofilm était approprié pour éliminer les micropolluants (MP). Il était supposé que les systèmes à biomasse fixée tout comme les systèmes à lit fluidisé ne convenaient que partiellement. Les systèmes à lit fluidisé hybride et ceux à biomasse granulaire étaient considérés comme potentiellement appropriés pour un dosage de CAP. Depuis la publication de l'article, différents essais pilotes ont été effectués avec un dosage de CAP dans des systèmes à biofilm nitrifiants. L'objectif de cette fiche d'information est d'actualiser le contenu de l'article à l'aide des nouvelles connaissances et de répondre aux questions suivantes:

- Comment le support et le biofilm influencent-ils l'adsorption des MP sur le CAP?
- Quel effet le CAP a-t-il sur le biofilm et la nitrification?

### 2. Définitions

- **Système à biofilm:** dans un système à biofilm, le biofilm se développe sur des supports qui se déplacent librement (lit fluidisé), des supports fixés (biomasse fixée) ou sans supports (biomasse granulaire). Des microorganismes responsables du traitement biologique se développent sur les supports, qui présentent une surface spécifique élevée.
- **Système à biomasse fixée (biofiltre):** dans ce document, les termes « système à biomasse fixée » ou « biofiltre » font référence à des procédés à biofilm avec un matériau filtrant granulaire ou des éléments structurés (« matériau de remplissage »). Ces derniers peuvent être aérés ou pas, selon l'application. Les systèmes à biomasse fixée doivent être régulièrement rétrolavés.
- **Lit fluidisé (MBBR - moving bed biofilm reactor):** le lit fluidisé est un procédé à biofilm utilisant des supports qui se déplacent librement, mélangés et répartis dans le réacteur à l'aide de dispositifs d'aération et/ou d'agitation. Les procédés à lit fluidisé fonctionnent de façon continue.
- **Système à lit fluidisé hybride:** le système à lit fluidisé hybride est une combinaison de lit fluidisé et de procédé à boues activées conventionnel avec biomasse en suspension.
- **Biomasse granulaire** (p. ex. procédé Nereda®): les boues activées granulaires sont composées uniquement de grains de biomasse, sans supports artificiels. Cette biomasse granulaire est mélangée et répartie dans le réacteur à l'aide de dispositifs d'aération et/ou d'agitation.

### 3. Expériences actuelles avec des systèmes à biofilm

Avec les systèmes à biofilm, deux modes opératoires différents sont possibles:

- **Biologie en une étape:** le système à biofilm est la seule étape biologique. Ce mode opératoire est comparable au dosage de CAP effectué directement dans une biologie à boues activées: la consommation de CAP est généralement plus élevée, car il n'y a pas d'adsorption en deux étapes. Actuellement, il n'y a pas d'expérience avec ce mode opératoire.

- Biologie en plusieurs étapes, p. ex. avec un système à biofilm pour la nitrification comme deuxième étape avec dosage de CAP. Selon le mode opératoire choisi, il est possible de réintroduire le CAP dans la première étape biologique afin de mieux exploiter la capacité d'adsorption (via l'eau de rétrolavage dans le cas de biofiltres ou via la recirculation interne pour la dénitrification dans le cas de lits fluidisés). Les deux essais pilotes décrits ci-dessous ont été effectués avec un dosage de CAP dans une étape de nitrification.

### 3.1 Dosage de CAP dans un lit fluidisé (essai à l'échelle semi-industrielle, Suède)

Le dosage de CAP dans un système à lit fluidisé nitrifiant a été étudié en Suède à l'Université de Lund (Cimbritz et al., 2019). Lors de cet essai pilote, deux réacteurs de 8 litres (un réacteur avec dosage de CAP, un réacteur de référence) ont été alimentés en parallèle avec des eaux usées prétraitées biologiquement (biologie à forte charge ; voir la Figure 1). Le temps de séjour hydraulique dans le lit fluidisé était d'environ 2 heures. Les supports AnoxKaldnes™ et le CAP ont été mélangés par aération dans le MBBR et maintenus en suspension. La concentration de COD moyenne en entrée du lit fluidisé était de 16 mg/l.

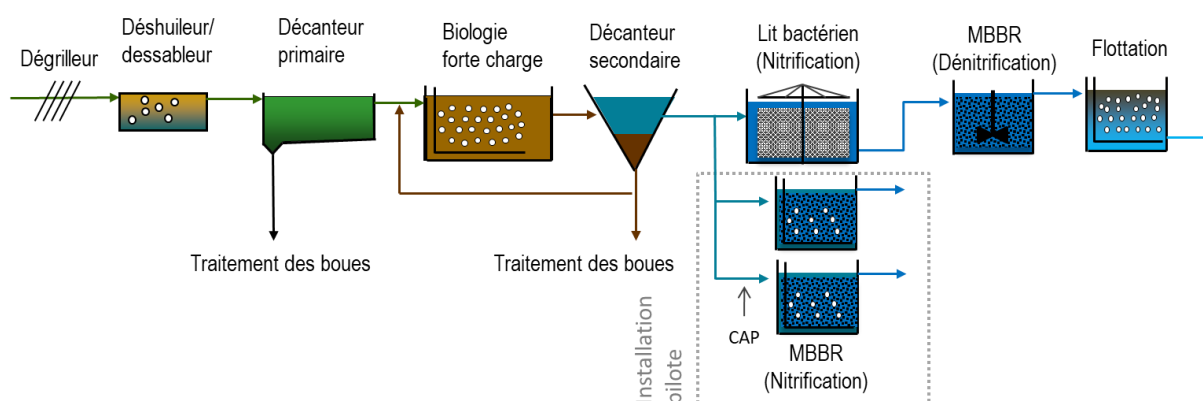


Figure 1 – Schéma fonctionnel de l'installation à l'échelle industrielle et de l'essai pilote à l'échelle semi-industrielle (cadre en pointillés gris) avec dosage de CAP avant un lit fluidisé en Suède (source: plateforme).

Différents dosages de CAP de 5, 10, 15, 20 et 30 mg/l ont été étudiés pendant plusieurs semaines. Pour chaque dose de CAP, les micropolluants ont été analysés dans trois échantillons prélevés en entrée et en sortie. Il est apparu que des dosages de CAP plus élevés permettaient d'obtenir de meilleurs taux d'élimination de MP: la plupart des micropolluants étudiés (notamment la venlafaxine, la carbamazépine, le citalopram et le métoprolol) ont été éliminés à env. 80 à 90% avec un dosage de CAP de 20 mg/l (1 mgCAP/mgCOD; la concentration de COD à ce moment-là était de 20 mg/l). Le diclofénac n'a été éliminé qu'à 60% avec la même dose de CAP.

En outre, l'exploitation de l'installation pilote, qui a duré 5 mois, n'a pas montré de perturbation de la nitrification, même avec des doses de CAP plus élevées. Le taux de nitrification était comparable au réacteur de référence (sans dosage de CAP), la concentration d'ammonium à la sortie des deux réacteurs était comprise entre 0.5 et 1.9 mg/l. L'étude n'a pas permis d'observer si d'autres processus biologiques étaient affectés ou favorisés.

La perte de charbon actif n'a pas été spécialement étudiée lors de cet essai pilote. Les valeurs MES en sortie ont augmenté proportionnellement au dosage de CAP, car l'essai pilote a été effectué sans étape de séparation. Des analyses microscopiques ont toutefois montré qu'une certaine intégration du CAP avait lieu dans le biofilm. La question de savoir si le CAP conduit à l'abrasion des supports de croissance n'a pas été étudiée.

Nous ne disposons pas d'informations concernant une éventuelle surcharge (alourdissement) des supports engendrée par le CAP, les conséquences sur la flottabilité des supports de croissance et l'augmentation des besoins en énergie et en air. Nous ne savons pas non plus si la grille de rétention à la sortie du MBBR peut être obstruée par les supports et le CAP. Ces aspects doivent encore être étudiés.

Des analyses complémentaires permettront de déterminer si le CAP peut être recirculé dans le lit fluidisé ou dans la biologie à boues activées pour une meilleure utilisation de sa capacité d'adsorption.

Les essais ont permis de tirer les enseignements suivants:

- La performance de la biomasse n'est pas influencée négativement par l'ajout de CAP.
- L'élimination des MP par le CAP dans un lit fluidisé nitrifiant est comparable à d'autres applications de CAP.
- Nous ne disposons pas encore d'expériences à l'échelle industrielle sur le long terme.

### 3.2 Dosage de CAP avant un biofiltre (biomasse fixée ; essai à l'échelle industrielle, Fribourg)

À la STEP de Fribourg, le CAP (Norit SAE Super) a été dosé avant l'une des huit cellules filtrantes à l'échelle industrielle d'un biofiltre nitrifiant de type Biofor® (placé après une biologie moyenne charge; voir Fig. 2 et le [rapport](#)). Le biofiltre était alimenté par flux ascendant. Pendant les essais, les vitesses de filtration étaient de 6 m/h en moyenne (ce qui correspond à un temps de contact d'env. 27 min). Sans dosage de CAP, les 12 substances de référence n'ont pratiquement pas été éliminées dans le biofiltre (3-5% selon les calculs).

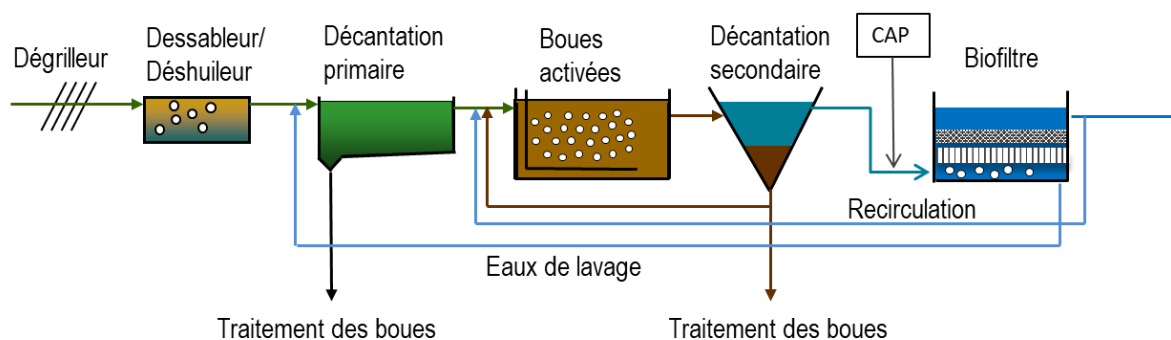


Figure 2– Schéma fonctionnel de l'essai mené à l'échelle industrielle à la STEP de Fribourg avec dosage de CAP avant un biofiltre (source: plateforme)

Les dosages de CAP suivants ont été étudiés: 1.5, 10 et 15 mgCAP/l, ce qui correspond en moyenne à env. 0.2, 1.4 et 2.2 mgCAP/mgCOD. Lors du dosage de 1.4 mgCAP/mgCOD, le taux d'élimination moyen des 12 substances était compris entre 75% et 83%. Le dosage de 2.2 mgCAP/mgCOD a conduit à une augmentation du taux d'élimination (compris entre 82% et 91%). Les valeurs de dosage évoquées se rapportent au volume d'eau arrivant dans le biofiltre étudié et ne peuvent pas être directement transposées à d'autres installations en raison de la conception de l'essai (installation pilote traitant un débit partiel et exploitation avec une recirculation interne élevée).

Pendant l'essai, une amélioration des taux d'élimination a été observée. Cela peut s'expliquer par la recirculation du CAP, aussi bien avec l'eau de rétrolavage des filtres dans le décanteur primaire qu'avec les eaux usées nitrifiées dans la biologie à boues activées (par temps sec).

Avec des doses de CAP plus élevées, un coagulant ( $\text{FeCl}_3$ ) a également été dosé. Mais aucune amélioration n'a pu être observée au niveau de la rétention du CAP. Pendant l'essai, aucune accumulation de charbon actif indésirable n'a été observée dans le biofiltre et aucune modification des intervalles de rétrolavage du biofiltre n'a été effectuée.

Cet essai a également permis de montrer que l'ajout de CAP n'a aucune influence sur la nitrification: le dosage de CAP n'a pas entraîné d'augmentation de la concentration d'ammonium en sortie.

Le dosage de CAP a conduit à un dépassement de la valeur de dimensionnement du biofiltre pour les matières en suspension, mais le taux d'élimination des MES n'a pas été affecté. Dans la mesure où le biofiltre est la dernière étape de traitement, les pertes de CAP ont été étudiées. La concentration de CAP à la sortie de la STEP de Fribourg était généralement supérieure à 1 mg/l (avec un dosage de CAP de 10 mg/l ou 15 mg/l, cela représente une perte de charbon actif de respectivement 10% et 7% du CAP dosé). Une filtration finale serait nécessaire ici, car cette perte de CAP est clairement plus élevée qu'avec d'autres procédés de traitement au CAP.

Les essais ont permis de tirer les enseignements suivants:

- La performance de la biomasse n'est pas influencée négativement par le dosage de CAP.
- L'élimination des MP par le dosage de CAP dans un système à biomasse fixée est comparable à d'autres applications de CAP.
- L'élimination des MP à l'aide de dosage de CAP dans un biofiltre nitrifiant semble fonctionner au vu des résultats obtenus. Une étape de filtration supplémentaire est recommandée pour la rétention du CAP.

### **3.3 Dosage de CAP dans un procédé avec biomasse granulaire**

Les procédés à biomasse granulaire (p. ex. Nereda®, S-Select®) font partie des procédés à biofilm, même si une part de la biomasse est présente sous forme de suspension ou de floccs de boue activée. Ces procédés peuvent être exploités selon différents modes opératoires. À l'heure actuelle, aucune conclusion fiable ne permet d'affirmer dans quelle mesure ces procédés peuvent être combinés à un procédé de traitement au CAP ou si une accumulation de CAP dans le système pourrait limiter les

processus biologiques. Dès que nous disposerons de résultats et d'expériences supplémentaires, cette fiche d'information sera complétée.

#### **4. Conclusion**

Le dosage de CAP dans une étape biologique avec des supports de croissance (systèmes à biofilm: biomasse fixée, lit fluidisé) est techniquement possible. La performance des systèmes à biofilm uniquement nitrifiants n'est pas affectée par l'ajout de CAP. La dose de CAP nécessaire est comparable à celle du dosage direct dans des systèmes à boues activées classiques. Nous ne pouvons pas encore affirmer dans quelle mesure le comportement (flottabilité) des supports de croissance est modifié. De même, aucune indication définitive sur les pertes de charbon actif ne peut être donnée. Toutefois, le CAP est généralement moins bien intégré dans la biomasse que dans un système à boues activées conventionnel. Une filtration supplémentaire pour la rétention de CA doit être étudiée au cas par cas.

#### **5. Bibliographie**

Cimbritz, M., Edefell, E., Thörnqvist, E., El-taliawy, H., Ekenberg, M., Burzio, C., Modin, O., Persson, F., Wilén, B., Bester, K., Falas, P. (2019): PAC dosing to an MBBR – Effects on adsorption of micropollutants, nitrification and microbial community, *Science of the Total Environment* 677, 571-579

Horisberger, M. (2017): Essais pleine échelle: dosage de charbon actif en poudre sur une cellule Biofor® - nitrification. Étude préliminaire micropolluants pour la STEP de Fribourg, Rapport final, Triform