Exploitation des installations d'élimination des micropolluants dans les STEP par temps de pluie

Ce document résume l'état actuel des connaissances sur l'exploitation par temps de pluie des installations d'élimination des micropolluants dans les STEP en Suisse. Les contenus sont basés en grande partie sur les résultats de l'atelier du 25 octobre 2021. Si d'autres connaissances venaient à être acquises, ce document serait complété.

Participantes et participants à l'atelier

- *Ingénieurs et fournisseurs d'équipements : Baggenstos M. (Hunziker), Busch A. (Wabag), Leikam K. (Afry), Rieck T. (Gujer), Salzgeber D. (Holinger), Metzger S., Ehrhardt F. (Weber Ingenieure, Allemagne)*
- *Exploitants de STEP : Bhend Th. (STEP de Wetzikon), Eyer R., Gubser N. (STEP de Werdhölzli), Meyer D. (arabern), Klaus Th. (STEP de Schönau), Baumann A., Schoppe I. (STEP du lac de Thoune)*
- *Recherche : Böhler M. (Eawag, CH), Joss A. (Eawag, CH), McArdell Ch. (Eawag), Siegrist H. (anc. Eawag), Thomann M. (FHNW)*
- *Office fédéral de l'environnement : Dominguez D. (Section Protection des eaux)*
- *Cantons : Gerber M. (canton de SG), Holliger U. (canton de ZH)*
- *VSA : Brander A., Gulde R., Tamà N., Wunderlin P. (plateforme VSA)*

Contexte

En Suisse, le taux d'épuration des micropolluants doit être respecté par tous les temps, à l'instar des paramètres de la DCO, de la DBO_5, du phosphore et de l'azote total. Une enquête menée auprès des exploitants d'installations d'élimination des micropolluants dans les STEP en Suisse révèle que cela entraîne parfois des difficultés. En effet, contrairement aux autres paramètres, il existe moins de valeurs de mesure pour le calcul du taux d'épuration des micropolluants. C'est dans ce contexte que la plateforme VSA a organisé l'atelier du 25 octobre 2021 avec les expertes et experts susmentionnés.

Difficultés et solutions

Installations d'ozone

Par temps de pluie, la commande/régulation des installations d'ozone est difficile en raison de la modification de la composition des eaux usées. Dans bien des cas, des interventions manuelles sont nécessaires pour éviter un surdosage ou un sous-dosage, et ainsi empêcher les fuites d'ozone ou encore la diminution du rendement d'épuration. Des doses d'ozone trop élevées peuvent également entraîner un risque accru de formation de bromate. L'optimisation de l'exploitation se fait individuellement en testant diverses stratégies d'exploitation.

Lorsque les installations disposent de deux chambres d'injection, il faut veiller à ce que l'apport d'ozone des deux chambres soit bien ajusté en cas de pluie. Sans oublier que le temps de séjour dans la deuxième chambre est plus court que dans la première.

À la STEP de Neugut, il a été observé que l'étape de traitement biologique éliminait moins de micropolluants en cas de fortes précipitations que par temps sec. Cette diminution de rendement doit être compensée par une élimination supplémentaire de l'étape MP. La part de la biologie est toutefois plutôt faible, avec 5 % du rendement d'élimination en moyenne annuelle. À la STEP de Neugut, les méthodes suivantes se sont révélées efficaces par temps de pluie :

- Optimisation de l'apport d'ozone (voir A&G 12/19) : l'ozone est introduit dans deux chambres du réacteur par le biais de diffuseurs à fines bulles.
- Gestion active de la charge avec un bassin tampon dans la STEP (voir A&G 2/20)

Les sondes UV mesurant à 254nm sont actuellement la meilleure méthode pour vérifier le taux d'épuration sans mesurer les micropolluants. Par temps sec, les sondes UV sont en outre très utiles pour la commande/régulation des installations d'ozone. S'il pleut, des informations supplémentaires sont nécessaires et d'autres paramètres tels que le nitrite ou le COD à l'entrée de l'ozonation fournissent de précieuses données pour déterminer le dosage d'ozone nécessaire. Cependant, un changement rapide de la composition des eaux usées, occasionné par le passage d'un temps sec à un temps pluvieux par exemple, place l'exploitation face à de grands défis. En effet, les signaux de mesure ne sont pas assez précis dans ce cas de figure. Le décalage temporel des sondes UV à l'entrée et à la sortie de l'ozonation peut également jouer un rôle, car le temps de séjour des eaux usées dans l'ozonation est réduit par temps de pluie, passant de 40 à 10 minutes par exemple. La figure 1 montre les valeurs moyennes sur 24 heures des sondes UV et du taux d'épuration à l'aide des 12 substances de référence à la station d'épuration de Werdhölzli. Il n'existe pas de corrélation étroite entre les valeurs delta UV et le taux d'épuration. Parmi les paires de valeurs inférieures au taux d'épuration de 80 %, les valeurs liées aux épisodes pluvieux sont proportionnellement plus nombreuses que celles relevées par temps sec. L'élimination des micropolluants par temps de pluie dépend fortement de l'ajustement du dosage d'ozone pendant l'événement pluvieux.

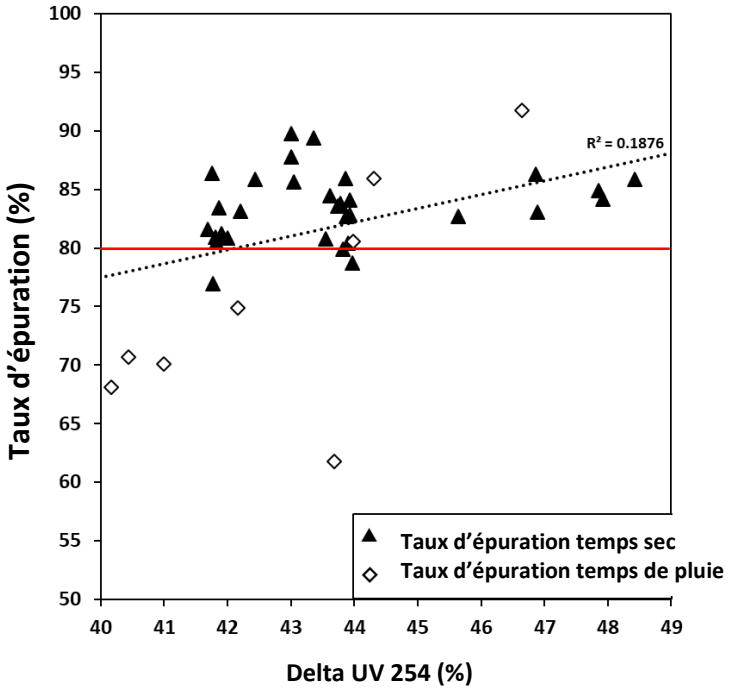

Figure 1 *Corrélation entre le taux d'épuration (%) et le delta UV (%) mesuré avec des sondes UV à la STEP de Werdhölzli. Les triangles correspondent aux périodes d'échantillonnage par temps sec, les losanges aux périodes par temps de pluie. La corrélation des points a été calculée en employant une régression linéaire.*

Actuellement, les sondes redox ne sont pas suffisamment fiables pour être intégrées dans le système de contrôle/régulation. Elles demeurent toutefois importantes pour détecter les pertes d'ozone à la sortie du réacteur d'ozone.

En cas de courts-circuits hydrauliques, le temps de séjour effectif dans le réacteur à ozone est inférieur à celui prévu lors du dimensionnement. Par temps de pluie, l'ozone peut se répercuter en sortie, ce qui doit être évité notamment pour des raisons de sécurité. Des essais de traçage permettent de déterminer le temps de séjour effectif avec un débit maximal. Pour éliminer les courts-circuits existants, l'hydraulique du réacteur peut par exemple être optimisée au moyen d'installations supplémentaires. Les courts-circuits doivent être pris en compte dès la conception du réacteur d'ozonation. Il est possible de le faire grâce à une visualisation préalable du système hydraulique, avec une simulation CFD par exemple. Sur la base des résultats obtenus, des optimisations, telles que le déplacement d'éléments du réacteur, peuvent être intégrées dans les planifications.

Les orages peuvent provoquer des fluctuations du réseau électrique, ce qui peut entraîner des pannes temporaires des générateurs d'ozone.

Installations au charbon actif : aspects généraux

Dans le cas des installations au charbon actif, il faut savoir qu'une quantité généralement plus élevée de charbon actif est nécessaire pour atteindre le taux d'épuration requis par temps froid. Si la baisse des températures s'accompagne d'un épisode pluvieux, la quantité de dosage optimale est encore plus difficile à trouver.

Installations de CAP

Les installations de CAP atteignent le taux d'épuration de 80 % requis, même par temps de pluie. Le dosage de CAP est alors réalisé sur la base de valeurs empiriques et chaque STEP a élaboré sa propre stratégie de régulation. En principe, toutes les installations de CAP ont besoin d'une plus grande quantité de CAP en cas de pluie pour respecter le rendement requis. Les différences suivantes sont spécifiques à chaque installation :

- La STEP du lac de Thoune (procédé d'Ulm) dose le CAP proportionnellement au débit et ne réduit la dose spécifique manuellement que rarement en cas d'épisode pluvieux prolongé.
- La STEP de Schönau (CAP avant filtre à sable) dose également le CAP proportionnellement au débit par temps de pluie. Après un certain laps de temps, l'apport de CAP par volume d'eaux usées traitées est diminué toutefois d'environ 30 %.
- La STEP de Wetzikon (CAP dans la biologie à boues activées) dose le CAP selon une courbe de dosage définie pour chaque nouveau CAP utilisé. La quantité quotidienne de CAP est augmentée à mesure que le débit d'eaux usées augmente, jusqu'à un débit maximal. La quantité quotidienne de CAP est ensuite maintenue à un niveau constant.
- La STEP d'Herisau (procédé d'Ulm) dose une quantité quotidienne constante de CAP, indépendamment du débit. En cas de pluie, une quantité supplémentaire de CAP est ajoutée directement avant la filtration sur sable.

Les difficultés rencontrées par temps de pluie diffèrent selon le procédé CAP utilisé. Elles nécessitent des solutions différentes :

- Pour le dosage de CAP dans la biologie à boues activées il s'est avéré utile de stopper l'extraction des boues excédentaires en cas de pluie et d'augmenter la recirculation interne dans la biologie. La capacité d'adsorption du charbon est ainsi déplacée de l'arrière vers l'avant du système. Cela a pour effet de réduire la charge moyenne de CAP dans la partie arrière du bassin et d'augmenter la charge du CAP à l'avant.
- Pour le dosage de CAP avant une filtration sur sable il est important d'éviter les chocs hydrauliques afin d'empêcher les pertes soudaines de CAP avec des cellules filtrantes très chargées. Cela peut être réalisé en optimisant le système hydraulique. De plus, selon les exploitants de la STEP de Schönau, il est judicieux de définir une charge maximale de CAP pour chaque cellule filtrante, en se basant sur l'expérience. Cela peut être calculé à partir de la quantité de CAP dosée et de la quantité d'eau par cellule filtrante. Une fois cette valeur atteinte, un rétrolavage de la cellule filtrante concernée est alors déclenché.

Le Delta UV n'est utile pour aucune des installations au CAP lorsqu'il faut déterminer la quantité de dosage nécessaire par temps de pluie. En effet, la corrélation entre la diminution d'UV et celle des micropolluants est trop imprécise. C'est également le cas pour les valeurs UV déterminées en laboratoire, même si elles sont généralement plus précises que les sondes en ligne.

Les données des STEP de Schönau et du lac de Thoune montrent que pour le candésartan et l'irbésartan (lac de Thoune uniquement), les concentrations mesurées à la sortie de l'étape de traitement biologique sont parfois plus élevées que les concentrations mesurées à l'entrée de la STEP. Les deux STEP font recirculer le CAP dosé en aval dans l'étape de traitement biologique. Ces effets se produisent aussi bien par temps sec que par temps de pluie. Et il est intéressant de noter qu'ils apparaissent également à la STEP de Neugut : les taux d'élimination négatifs y sont de 10 ±

18 % (candésartan) et de 9 ± 18 % (irbésartan) [2]. Les causes de cette situation sont actuellement étudiées.

CAG en lit fluidisé

Dans le cas du procédé CAG en lit fluidisé, la quantité de dosage peut être ajustée par temps de pluie, comme pour les procédés au CAP.

Le problème rencontré à la STEP de Penthaz par temps de pluie était le suivant : la préparation des charges de CAG prenait trop de temps (cinq heures et demie) et le dosage de la charge suivante avait donc lieu trop tard. Il en résultait une baisse du taux d'épuration. Ce problème a été résolu en réduisant le temps de préparation à quatre heures. Les expériences faites jusqu'ici par la STEP de Penthaz montrent qu'une dose plus élevée de charbon est généralement nécessaire en cas de pluie prolongée. Une autre possibilité pourrait être d'augmenter la hauteur du lit de charbon, afin d'avoir plus de marge en cas de débits élevés. Pour la STEP de Penthaz, cela signifierait par exemple que le lit de charbon actif, qui est de 1,5 mètre au repos, serait augmenté à 1,7 ou 1,8 mètre.

CAG dans un filtre statique

Dans le cas du CAG dans un filtre statique, la pluie peut entraîner une diminution du rendement dans les adsorbeurs individuels. Cela est dû à la dilution aux débits de pluie et à la réduction des temps de contact [3,4]. Ce procédé n'offre pas la possibilité d'augmenter le dosage du charbon actif dans l'intervalle, comme en témoigne la fiche d'information sur le CAG 2020 [5]. Une optimisation pourrait être apportée en renonçant à activer la cellule filtrante comportant le CAG le plus « frais » par temps sec. Dotée d'un taux d'élimination très élevé, elle pourrait alors venir compenser par temps pluvieux le mauvais rendement des cellules plus anciennes. La STEP de Moos travaille en ce sens avec ses filtres Dyna-CAG : par temps sec, les deux cellules filtrantes les plus chargées traitent les eaux usées, tandis que les cellules filtrantes « plus fraîches » traitent les eaux usées par temps de pluie (2/3 du volume d'eaux usées sont traités par les deux cellules plus fraîches et 1/3 est traité par les deux cellules plus chargées, par exemple) [6]. Concernant les cellules filtrantes plus anciennes, on ne sait pas encore si certains micropolluants se désorbent en quantités significatives, lorsqu'ils entrent en contact avec des eaux usées diluées. Ces considérations théoriques doivent encore être testées dans des installations à l'échelle industrielle.

Pour le dimensionnement futur des filtres CAG, il serait utile de mieux comprendre pourquoi le taux d'élimination baisse par temps de pluie et comment éviter cela. Il est donc nécessaire d'approfondir nos connaissances dans ce domaine.

Prélèvements d'échantillons visant à contrôler le taux d'épuration

Si l'échantillon composite de 48 heures est prélevé lors de la transition entre temps sec et temps pluvieux, il est possible que le rendement d'épuration calculé entre les échantillons prélevés simultanément à l'entrée et à la sortie soit inférieur à sa valeur effective. La raison est simple : L'eau entrant diluée contenant beaucoup d'eau de pluie est comparé à un effluent de STEP qui n'est pas encore dilué. Cela conduit à un artefact de mesure. Dans ce cas, on observe également une réduction de la capacité d'épuration mesurée pour la DCO. Ce problème peut être contourné en différant le moment de l'échantillonnage. Selon les retours des exploitants, cela s'avère toutefois compliqué dans la pratique, car le décalage dans le temps peut varier énormément selon l'événement pluvieux.

Une approche pragmatique pourrait consister à décaler, de manière générale, l'échantillonnage de 24 heures dans les grandes installations.

Ce phénomène ne se produit pas en cas de pluie prolongée. Il est nécessaire de comprendre quelles sont les situations critiques pour l'échantillonnage, à quelle fréquence elles se produisent et comment les contourner.

Références

[1] Walpen, Joss, von Gunten (2021) Application of UV absorbance and electron-donating capacity as surrogates for micropollutant abatement during full-scale ozonation of secondary-treated wastewater Water Research 209 (2022) 117858.

[2] Bourgin, M., Beck, B., Boehler, M., Borowska, E., Fleiner, J., Salhi, E., Teichler, R., von Gunten, U., Siegrist, H., McArdell, C.S. (2018). Evaluation of a full-scale wastewater treatment plant upgraded with ozonation and biological post-treatments: Abatement of micropollutants, formation of transformation products and oxidation by-products. Water Research, 129, 486-498, doi.org/10.1016/j.watres.2017.10.036.

[3] Böhler, M., Hernandez, A., Baggenstos, M., McArdell, C.S., Siegrist, H., Joss, A. (2020) Elimination von Spurenstoffen durch granulierte Aktivkohle-Filtration (GAK): Grosstechnische Untersuchungen auf der ARA Furt, Bülach, Schlussbericht Eawag, Dübendorf, Schweiz.

[4] McArdell, C.S., Böhler, M., Hernandez, A., Oltramare C., Büeler A., Siegrist, H. (2020) Pilotversuche zur erweiterten Abwasserbehandlung mit granulierter Aktivkohle (GAK) und kombiniert mit Teilozonung (O3/GAK) auf der ARA Glarnerland (AVG), Ergänzende Untersuchungen zur PAK-Dosierung in die biologische Stufe mit S-select®-Verfahren in Kombination mit nachfolgender GAK. Schlussbericht Eawag, Dübendorf, Schweiz.

[5] Böhler M., Joss A., McArdell C., Meier A. (2020). 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. Document de synthèse faisant suite au workshop du 9.12.2019 à l'Eawag avec la participation d'experts venus de Suisse et d'Allemagne, l'Eawag et le VSA, Dübendorf.

[6] Bitterwolf S. (2021) STEP de Moos – Le CAG dans le filtre rétrolavé continuellement, 22/23 juin 21, cours d'approfondissement PEAK-VSA, Eawag Dübendorf, Kuster und Hager. www.micropoll.ch.