

## **Numéro spécial ARMISTIQ de la revue Techniques Sciences et Méthodes (TSM) de L'ASTEE - Parution prévue en Mars 2015**

### **Avant-Propos**

P. DUPONT (ONEMA)

### **Article 1 - Indicateurs chimiques d'efficacité de traitement et d'influence des rejets de stations d'épuration sur le milieu récepteur**

A. BRUCHET, S. MARTIN, M. COQUERY

Cet article présente une démarche qui a permis d'aboutir à la sélection d'une dizaine d'indicateurs chimiques d'efficacité de traitement des rejets de station d'épuration des eaux usées domestiques et de qualité chimique du milieu. La littérature sur la notion d'indicateur d'eaux résiduaires a tout d'abord été prise en compte. Les résultats d'études récentes portant sur la mesure et le comportement de micropolluants organiques et minéraux dans les rejets ont été ensuite synthétisés. Les critères de sélection des micropolluants indicateurs comprennent la fréquence de quantification en entrée et sortie de traitement secondaire, le comportement en termes d'élimination lors des procédés primaire, secondaire et complémentaire (ozone et charbon actif), et aussi les normes de qualité environnementale pour les indicateurs chimiques « milieu naturel ». Au final, une liste de 9 indicateurs chimiques et 1 paramètre global est proposée.

### **Article 2 - Peut-on améliorer l'élimination des micropolluants des eaux usées en optimisant le procédé à boues activées ?**

J.M. CHOUBERT, M. POMIES, H. BUDZINSKI, M. ESPERANZA, K. LE MENACH, N. NOYON, C. CRETOLLIER, L. DHERRET, C. MIEGE, M. COQUERY

Cette étude visait à améliorer l'élimination des micropolluants en modifiant les conditions de fonctionnement du procédé boues activées aération prolongée. Cette question a nécessité de mesurer les coefficients de sorption et les constantes de biodégradation (étude pilote), et de décrire la variabilité des concentrations dans les eaux usées brutes et les boues d'une installation vraie grandeur. 53 micropolluants ont été étudiés (11 métaux et 42 substances organiques). Au total, 8 campagnes d'échantillonnage de quelques jours ont été réalisées sur une durée d'un an, pour différentes conditions de fonctionnement de l'installation (concentration en boue, durée de présence d'oxygène, température).

Les concentrations dans les eaux usées brutes ont varié de façon importante pour les substances organiques (50 à 100%), mais moindre pour les métaux (30%). Au cours d'une période de 24 heures, des concentrations deux fois plus élevées ont été mesurées dans la journée (6 h à 24 h), par comparaison aux concentrations mesurées la nuit pour plusieurs substances (ex. zinc, plomb, nonylphénol, propranolol, diclofénac).

Nous avons démontré que la biodégradation explique l'élimination d'une dizaine de substances (ex. paracétamol, acébutolol, aténolol, ibuprofène, nonyl- et octyl-phénol). La sorption seule explique le transfert dans les boues des HAP lourds et des métaux. La sorption et biodégradation expliquent conjointement l'élimination d'une dizaine d'autres substances (ex. propranolol et quelques HAP). En complément, nous avons démontré que la biodégradation se déroule principalement en condition aérobie, surtout en présence simultanée de DCO et d'azote ammoniacal dans le bioréacteur, et avec une vitesse moindre en présence d'azote seul et très faible en phase endogène. Nous avons mesuré une faible dégradation des micropolluants une fois adsorbés sur les boues (<10%).

Le modèle ASM1-MIP a été élaboré pour le procédé étudié, et ses prévisions représentent l'évolution temporelle des concentrations mesurées en sortie de STEU, en prenant en compte la variabilité des concentrations. Son utilisation a permis d'évaluer l'impact de l'augmentation de la concentration en boue (pour optimiser la sorption et la biodégradation), d'une plus grande durée d'aération (pour optimiser la biodégradation), et des variations de température. Le modèle prédit que les concentrations dans les eaux traitées de certains micropolluants pourraient être réduites d'au maximum 30% en modifiant le fonctionnement des boues activées.

### **Article 3 - Quels micropolluants peut-on éliminer par les procédés extensifs de traitement des eaux usées domestiques ?**

J.M. CHOUBERT, C. CRETOLLIER, A. TAHAR, H. BUDZINSKI, M. ESPERANZA, L. DHERRET, K. Le MENACH, N. NOYON, C. MIEGE, M. COQUERY

Cet article documente l'élimination de 59 micropolluants (16 métaux et 43 micropolluants organiques) par différentes procédés de traitement extensifs, construits en traitement secondaire ou en traitement complémentaire. Les eaux brutes et traitées de 5 stations de traitement des eaux usées des zones rurales ou péri-urbaines ont été étudiées par temps sec à l'aide d'échantillons prélevés avec du matériel spécifique. Des méthodes analytiques validées ont été mises en œuvre, avec de faibles limites de quantification (i.e. proches du nanogramme par litre) et des incertitudes maîtrisées. En traitement secondaire, la moitié des rendements obtenus sont supérieurs à 70% dès lors qu'un traitement biologique avec nitrification et une élimination des matières en suspension sont appliqués. Les valeurs de rendements obtenues pour les différents procédés extensifs étudiés sont voisines de celles déterminées pour les boues activées aération prolongée. Concernant les traitements complémentaires, les deux procédés extensifs classiques (filtres horizontaux à gravier ou apatite) étudiés, ainsi que le fossé (temps de séjour de 10 min), ont une contribution très faible dans le traitement des micropolluants réfractaires aux traitements secondaires. L'élimination de ces micropolluants nécessite des procédés spécifiques avec des temps de séjour élevés pour mobiliser la photodégradation naturelle, ou avec l'utilisation de matériaux adsorbants. L'argile expansée est efficace à faible niveaux de concentration, tandis que celle de la zéolite clinoptilolite s'avère intéressante lorsque les micropolluants sont présents à fortes concentrations. Malgré leur faible coût d'achat, mais du fait du temps de séjour élevé nécessaire et de la capacité d'adsorption assez faible, le calcul technico-économique reste favorable au charbon actif en grain pour une utilisation de tels matériaux dans des filtres

horizontaux. Nos futures recherches visent à étudier les processus impliqués pour l'élimination des micropolluants dans les zones de rejet végétalisées.

#### **Article 4 - Evaluation technique, économique et environnementale de procédés de traitement complémentaire avancés pour l'élimination des micropolluants**

S. BESNAULT, S. MARTIN RUEL, S. BAIG, B. HEINIGER, M. ESPERANZA, H. BUDZINSKI, C. MIEGE, K. LE MENACH, LYSIANE DHERRET, A. ROUSSEL-GALLE, M. COQUERY

Cet article documente l'élimination de 64 micropolluants (15 métaux et 49 substances organiques) par 5 procédés de traitement complémentaire : adsorption sur charbon actif en grain, ozone, ozone/ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, ozone/UV et UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Des méthodes analytiques validées ont été mises en œuvre, avec de faibles limites de quantification (i.e. proches du nanogramme par litre) et des incertitudes maîtrisées. Les traitements complémentaires étudiés aux conditions d'application utilisées ont été trouvés efficaces pour l'élimination de la plupart des micropolluants quantifiés dans cette étude, excepté les métaux. Le charbon actif et l'ozone ont permis d'éliminer à plus de 70% plus de 2/3 des substances organiques quantifiées dans cette étude. L'ajout de peroxyde d'hydrogène à l'ozone a augmenté le nombre de substances bien éliminées ( $R_w > 70\%$ ), mais n'a pas permis d'augmenter le rendement d'élimination des substances réactives à l'ozone. Les autres POA (ozone/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> et UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) n'ont pas permis d'augmenter le nombre de substances organiques bien éliminées par rapport à l'ozone seul. Les 5 technologies étudiées ont été dimensionnées à pleine échelle afin d'évaluer leurs coûts d'investissement et d'exploitation pour deux tailles de STEU différentes. Selon cette étude, la mise en place de traitements complémentaires intensifs sur une STEU de 60 000 ou de 200 000 EH entraînerait un surcoût de traitement d'environ 2 à 20 centimes d'euros par m<sup>3</sup> traité, selon la technologie mise en place, la liste des substances choisie et l'objectif visé.

#### **Article 5 - Devenir des micropolluants adsorbables à travers les procédés de traitement des boues**

S. BESNAULT, J.-M. CHOUBERT, C. MIEGE, S. MARTIN RUEL, N. NOYON, M. ESPERANZA, H. BUDZINSKI, K. LE MENACH, L. DHERRET, P. BADOS, M. COQUERY

L'objectif du présent travail a été de déterminer le devenir de 79 micropolluants au sein de neuf installations de traitement des boues. Le protocole d'échantillonnage a consisté à suivre un "lot" de boue à travers chaque procédé de traitement (entrée, sortie, points intermédiaires pour certains procédés comme le compostage et condensats). Des bilans matière ont été effectués afin de calculer des rendements d'élimination, en intégrant les incertitudes liées à l'échantillonnage et à l'analyse.

Aucun des procédés de traitement des boues étudiés dans ce projet n'a permis une élimination de l'ensemble des micropolluants mesurés dans les boues brutes. Certains micropolluants s'accumulent dans les boues traitées, principalement car ce sont des produits de dégradation d'autres composés, partiellement éliminés pendant le traitement. D'autres micropolluants sont partiellement éliminés : le séchage solaire a permis une réduction de la concentration en hormones, malgré leurs faibles concentrations en entrée. Le séchage

thermique à haute température et le lit de séchage planté de roseaux fonctionnant à 14 semaines de repos réduisent partiellement les concentrations en HAP. Les procédés de traitement des boues évalués ont tous permis une dégradation des nonylphénols mono et diéthoxylates (en nonylphénols). Une unité de compostage et un lit de séchage planté de roseaux (faible rythme d'alimentation-repos) ont permis d'éliminer partiellement les nonylphénols. Seul le séchage thermique (haute température) a eu un effet d'élimination sur les octylphénols. Le compostage en casiers et le lit de séchage planté de roseaux (faible rythme d'alimentation-repos) ont été efficaces sur DEHP, galaxolide, tonalide, dibutylphthalate et triclosan. Par contre, le bisphenol A s'est accumulé dans les boues pour le compostage. Le lit de séchage planté de roseaux fonctionnant sous 2 semaines d'alimentation et 14 semaines de repos a montré de meilleures efficacités d'élimination que celui fonctionnant sous 2 jours d'alimentation et 14 jours de repos. Aucun des procédés étudiés n'a permis d'éliminer les métaux, excepté le mercure, partiellement volatilisé dans le sécheur à haute température.