

L a u s a n n e



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'environnement OFEV

TRAITEMENT DES MICROPOLLUANTS DANS LES EAUX USÉES

RESUME SUR LES ESSAIS PILOTES À LA STEP DE VIDY (LAUSANNE)



Etude réalisée par le Service d'assainissement de la Ville de Lausanne
sous mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV)
avec le soutien du Service des Eaux, Sols et Assainissement du Canton de Vaud (SESA)



Lausanne, Janvier 2011

1 INTRODUCTION

1.1 CONTEXTE

Plus de 30'000 substances organiques de synthèse sont couramment utilisées en Suisse. Beaucoup d'entre elles, notamment des résidus de médicaments, des produits de soins corporels, des détergents, des biocides et des pesticides sont directement évacués dans les eaux usées. Ces substances, modifiant la nature des réactions biochimiques fondamentales de la vie, peuvent être toxiques à très faibles concentrations, d'où leur appellation de « micropolluants ». L'éthinylestradiol (principe actif de la pilule contraceptive) peut par exemple avoir un effet néfaste sur les poissons (perturbations hormonales, féminisation) au-delà d'une concentration de 0.1 ng/l, soit l'équivalent de 9 kg de la substance dilués dans le lac Léman !

De nombreuses études ont montré que ces substances organiques ne sont qu'en partie retenues ou dégradées dans les stations d'épuration (STEP) conventionnelles et se retrouvent ainsi dans les eaux de surface. Des concentrations élevées de micropolluants ont été observées dans des petits cours d'eau récepteurs de STEP (faible dilution). Si des effets néfastes à certaines concentrations ont été observés sur les organismes aquatiques (par exemple une activité hormonale féminine chez les poissons mâles à l'aval de certaines STEP), les effets à long terme sur la santé humaine ne sont pas encore connus. Les eaux de surface étant utilisées pour la consommation humaine, le principe de précaution doit être appliqué. Il est par conséquent nécessaire d'identifier des solutions pour réduire le rejet de micropolluants dans les eaux, soit en améliorant les procédés d'épuration existants dans les STEP, soit en ajoutant des traitements complémentaires (traitements avancés des micropolluants). Ces mesures centralisées sont à combiner avec d'autres mesures, telles que des réglementations sur l'utilisation de certaines substances problématiques, l'information et la sensibilisation de la population, des traitements à la source ou la réduction des apports par les déversoirs d'orage.

Dans le cadre de la rénovation complète de la STEP de Vidy initiée en 2004, le service d'assainissement de la Ville de Lausanne a souhaité prendre les devants concernant cette nouvelle problématique des micropolluants. Avec l'aide du Service des eaux, sols et assainissement du canton de Vaud (SESA), la Ville de Lausanne s'est jointe au projet « Stratégie Micropoll » de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV). Ce projet, lancé en 2006, vise à réunir les bases de décision pour définir une stratégie permettant de réduire l'apport de micropolluants dans le milieu aquatique lié à l'évacuation des eaux urbaines.

1.2 OBJECTIFS DES ESSAIS PILOTES

Un des objectifs de la « Stratégie Micropoll » est d'évaluer les procédés techniques les plus efficaces pour éliminer les micropolluants dans les STEP communales. Pour ce faire, elle se base sur les résultats de plusieurs essais pilotes. Les essais à la STEP de Vidy sont donc complémentaires aux essais d'ozonation menés à Regensdorf (ZH) en 2007 et 2008 et à ceux actuellement menés à Kloten-Opfikon et à l'Eawag (ZH) utilisant du charbon actif.

Les objectifs des essais menés à Vidy sont de :

1. Identifier des procédés performants pour l'élimination des micropolluants dans les eaux usées ;
2. Evaluer l'efficacité de ces procédés sur la base d'analyses des concentrations de divers micropolluants en entrée et en sortie de la STEP, complétées par des études écotoxicologiques ;
3. Déterminer les conditions opératoires les plus favorables, les exigences techniques et les compétences requises du personnel d'exploitation ;
4. Déterminer les coûts et les besoins énergétiques de ces procédés.

2 INSTALLATIONS PILOTES POUR L'ÉLIMINATION DES MICROPOLLUANTS

Les essais pilotes se sont concentrés sur les étapes prépondérantes de l'élimination des micropolluants : le traitement secondaire et les traitements avancés. Le choix des procédés s'est fait sur la base de plusieurs critères comme la capacité d'élimination des micropolluants, les conditions et coûts d'exploitation et l'emprise au sol. De plus, la capacité à désinfecter l'effluent a été considérée, sachant que la STEP rejette les eaux traitées dans le lac Léman proche d'une zone de baignade (plage de Vidy).

Un traitement biologique avec nitrification totale permet une élimination efficace des micropolluants biodégradables (Clara, et al., 2005). La biologie de la STEP de Vidy ne permettant pas ce fonctionnement, de nouvelles installations de **traitement par lit fluidisé** ont été construites. Ce procédé permet notamment d'obtenir une diversité bactérienne importante grâce à la fixation de la biomasse sur des garnissages.

Parmi les concepts connus pour le **traitement avancé des micropolluants**, l'oxydation et l'adsorption sont régulièrement mis en avant. La comparaison des traitements avancés a donc permis de sélectionner deux concepts : le **traitement par ozonation** suivi d'une filtration sur sable (FS), déjà étudié pour l'élimination des micropolluants à la STEP de Regensdorf (ZH) (Abegglen, et al., 2009), et le **traitement par adsorption sur charbon actif en poudre** (CAP) suivi d'une filtration membranaire (ultrafiltration UF). L'ultrafiltration a pour but d'assurer, en une seule étape, une séparation totale du CAP, ainsi qu'une désinfection de l'effluent.

Les installations pilotes construites à Vidy pour l'élimination des micropolluants (Figure 1) se composent de :

- Un **traitement biologique à lit fluidisé**, d'une capacité de 80 l/s, permettant une nitrification totale. Ce procédé doit permettre une meilleure élimination des micropolluants biodégradables que les **boues activées forte charge** actuelles ;
- Une installation d'**ozonation** des effluents de la biologie suivie d'une **filtration sur sable (ozonation-FS)**, d'une capacité de 100 l/s, permettant d'éliminer la plupart des micropolluants non éliminés dans le traitement biologique et de désinfecter partiellement l'effluent ;
- Une installation de traitement par adsorption sur **charbon actif en poudre** suivi d'une **ultrafiltration (CAP-UF)**, d'une capacité de 10 l/s et traitant les effluents de la biologie. Ce procédé, en parallèle à l'ozonation, doit aussi éliminer les micropolluants restants, et doit permettre en plus une désinfection totale de l'effluent grâce à l'ultrafiltration.

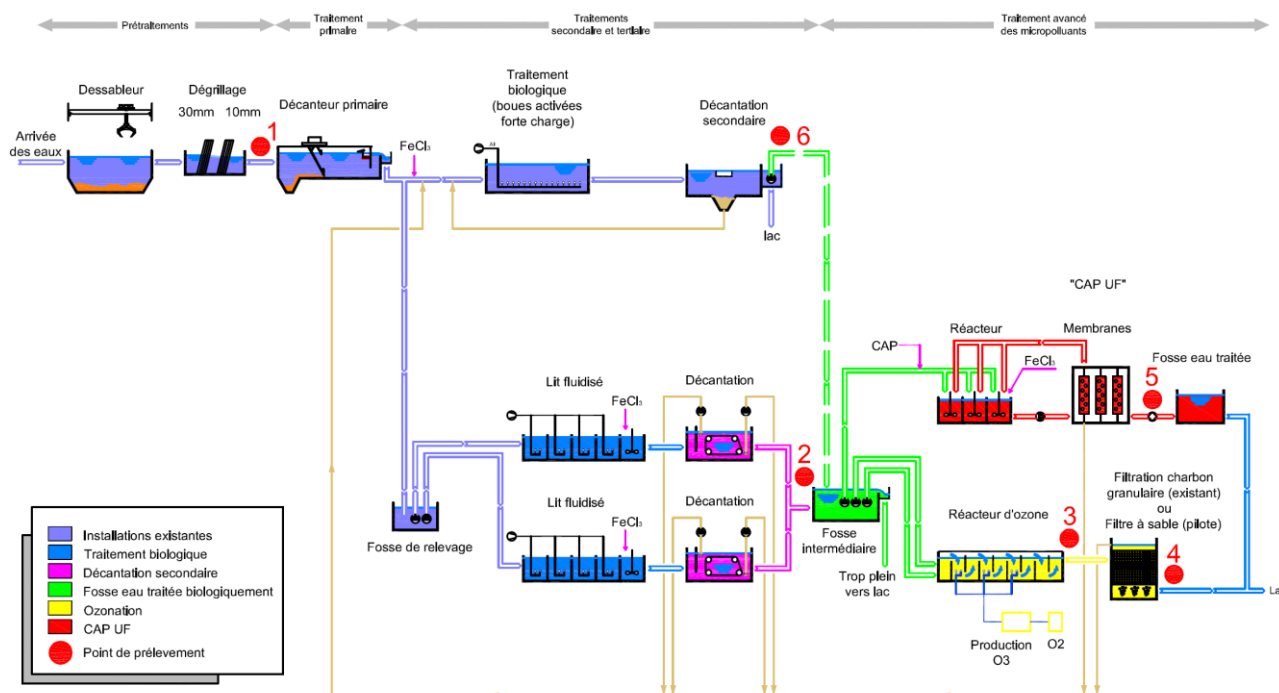


Figure 1 : Schéma général des installations existantes et des nouvelles constructions réalisées dans le cadre des essais pilotes.

3 CONSTRUCTION

En plus des prescriptions habituelles, plusieurs points spécifiques ont été pris en compte. Ainsi les matériaux utilisés ont été spécialement choisis pour éviter tout relargage de micropolluants dans les eaux. Pour les parties en contact avec l’ozone, seuls les matériaux résistants à l’oxydation ont été retenus. Les membranes d’ultrafiltration ont été sélectionnées pour résister aux substances pouvant se trouver dans les eaux usées, aux produits chimiques de nettoyage et à l’abrasion du CAP.

L’ozone est un gaz comburant très irritant et très toxique ; de nombreuses mesures de sécurité ont été nécessaires pour protéger le personnel et réduire le risque d’incendie ou d’explosion. Dispersé dans l’air, le CAP est explosif ; le stockage a donc été adapté en conséquence (mesures relatives aux Zones Ex.).



Figure 2 : à gauche : bassins du lit fluidisé ; au milieu citerne d’oxygène avec le container du générateur d’ozone ; à droite membranes d’ultrafiltration pour la séparation du CAP et « big bag » de CAP.

4 ANALYSES ET MESURES

L’efficacité des installations pilotes a été mesurée grâce à des campagnes d’analyses :

- 24 petites campagnes de 24h ont été réalisées pour optimiser le fonctionnement des installations (mesure des paramètres classiques des eaux usées et de la concentration de 21 micropolluants).
- 4 grandes campagnes de 7 jours ont été réalisées afin de déterminer l’élimination des micropolluants et la toxicité dans les effluents. Les paramètres classiques des eaux usées et la concentration de 58 micropolluants ont été analysés. De plus une vingtaine de tests écotoxicologiques et des mesures de qualité hygiénique des eaux ont été effectués.

5 RÉSULTATS

Le traitement biologique à forte charge permet d’atteindre un abattement moyen de 23%, alors que le traitement biologique avec nitrification permet d’éliminer en moyenne 44% des substances étudiées. Un traitement complémentaire est donc nécessaire pour atteindre 80% d’élimination (objectif du projet de modification de l’Ordonnance fédérale sur la protection des eaux).

Les traitements avancés testés (ozonation-FS et CAP-UF) permettent d’éliminer les micropolluants à plus de 80% en moyenne. Le traitement CAP-FS (testé dans des essais complémentaires) a une efficacité similaire au traitement CAP-UF pour l’élimination des micropolluants.

Une vingtaine de tests écotoxicologiques ont été effectués sur les effluents des différents traitements (Kienle, et al., 2010). Durant le traitement biologique, la toxicité des eaux usées est fortement réduite. L’effluent de la biologie, s’il n’est pas dilué dans le milieu récepteur, reste légèrement toxique. La toxicité est éliminée après l’ozonation et le traitement CAP-UF. Des sous-produits de réactions cancérigènes (bromate) sont formés durant l’ozonation, mais dans des concentrations inférieures aux valeurs réglementaires. Aucun effet mutagène ou génotoxique n’a été observé en sortie de l’ozonation.

Une désinfection partielle (ozonation-FS) ou totale (CAP-UF) de l’effluent a été observée.

6 INTERPRÉTATION

Le traitement biologique sur lit fluidisé avec nitrification totale est nettement plus performant qu'une biologie à boues activées forte charge pour éliminer la plupart des micropolluants. Plus la nitrification est avancée, plus l'élimination des micropolluants biodégradables est élevée.

L'ozonation fonctionne efficacement sur les effluents de tous les types de biologie testés (boues activées forte charge ou LF avec nitrification partielle ou totale). Une nitrification totale n'est donc pas indispensable pour l'élimination des micropolluants par ozonation, mais elle permet de réduire la consommation d'ozone. La méthode de régulation du dosage d'ozone en fonction de la concentration d'ozone résiduel permet de répondre au mieux à la demande oxydative de l'eau à traiter.

L'efficacité du traitement CAP-UF semble être principalement influencée par les dosages de CAP, de FeCl_3 et le type de CAP. Un abattement moyen supérieur à 80% a été atteint avec un dosage entre 10 et 20 mgCAP/l.

Les deux traitements avancés (ozonation-FS et CAP-UF) ont une efficacité moyenne similaire pour éliminer les micropolluants (dans les conditions testées). Certaines substances sont cependant mieux éliminées par l'un ou l'autre de ces traitements.

7 COÛTS D'EXPLOITATION/INVESTISSEMENT

Les coûts d'exploitation de l'installation d'ozonation-FS sont d'environ 6 ct./m³ (avec 0.11 kWh/m³). Les frais d'investissement pour le pilote sont évalués à 17 ct./m³ pour un débit traité de 60 l/s.

Les coûts d'exploitation de l'installation CAP-UF sont d'environ 50 ct./m³ (avec 0.9 kWh/m³). Ces valeurs élevées sont dues aux faibles flux obtenus lors des essais. Les frais d'investissement pour le pilote sont d'environ 50 ct./m³ pour le débit traité de 5 l/s. En cas de remplacement des membranes par un filtre à sable et des UV, les coûts d'exploitation d'une installation CAP-FS-UV sont évalués entre 6 et 9 ct./m³ (avec 0.09 kWh/m³) selon la dose de CAP (10 ou 20 mg/l). Les frais d'investissement seraient d'environ 15 ct./m³.

Ainsi, pour une STEP disposant déjà d'une biologie nitrifiante, l'ajout d'un traitement avancé par ozonation-FS ou CAP-FS-UV augmenterait les coûts du traitement des eaux usées d'environ 20 ct./m³, soit environ 37 CHF/an/équivalent-habitant. Pour une STEP disposant d'une biologie non nitrifiante, des modifications complémentaires de la biologie seront nécessaires.

8 CONCLUSION

Ces essais ont confirmé que les traitements conventionnels (décantation et biologie) n'éliminent que partiellement (<50%) les micropolluants analysés. Les deux traitements avancés testés (ozonation-filtre à sable et charbon actif en poudre-membrane d'ultrafiltration) permettent d'éliminer la plupart des micropolluants analysés à plus de 80% avec des doses de réactifs raisonnables (env. 3 à 6 ct./m³).

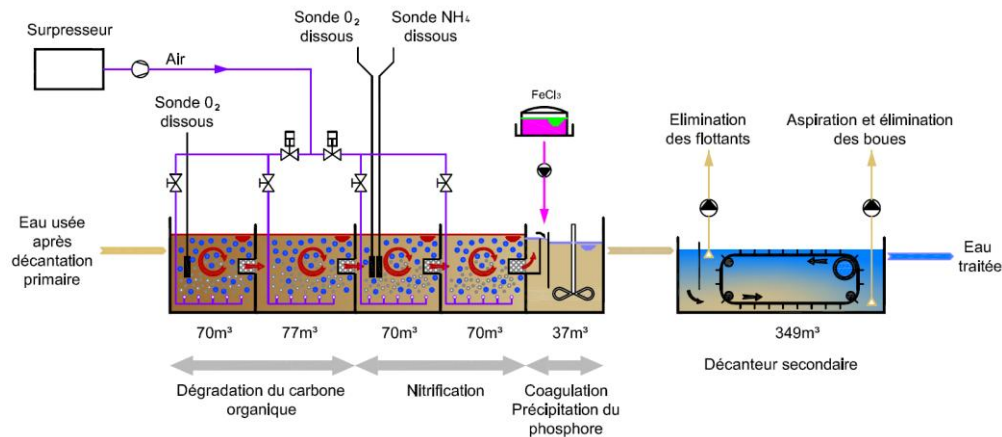
Les tests écotoxicologiques ont montré une réduction globale de la toxicité pour les deux traitements avancés. Aucune toxicité liée aux sous-produits de réaction formés durant l'ozonation n'a été observée.

La mise en place de ces traitements dans les STEP permettrait de réduire significativement la contamination des milieux récepteurs par les micropolluants. Ces procédés améliorent également le rendement global de la STEP concernant les paramètres classiques (nutriments, MES, matière organique).

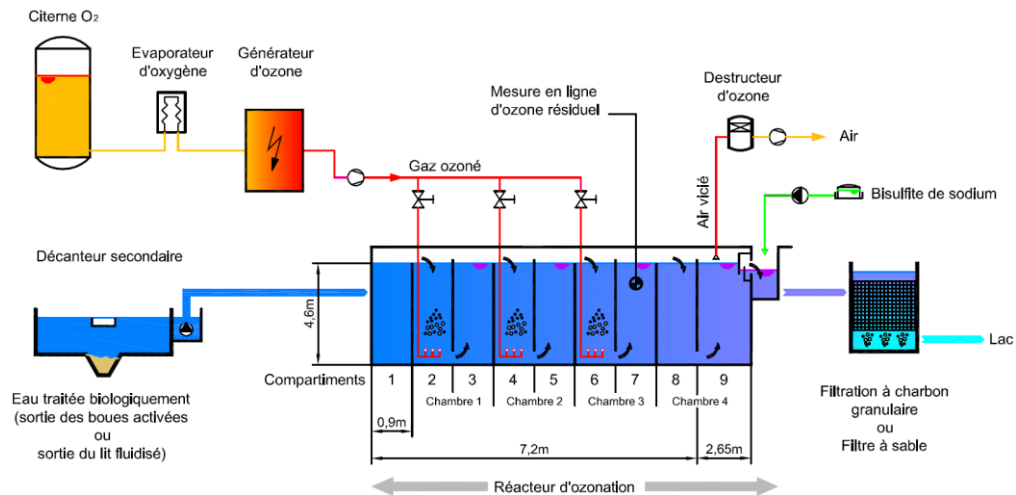
Cette étude a montré que l'ozonation et l'adsorption sur charbon actif sont tous les deux des procédés efficaces pour le traitement avancé des micropolluants dans les eaux résiduaires urbaines. Ces deux technologies sont réalisables et exploitables à grande échelle dans les STEP. Chaque technologie ayant ses avantages, le choix du procédé doit être fait au cas par cas en fonction des contraintes locales, de la composition des eaux usées, de la qualité nécessaire dans le milieu récepteur, des impératifs économiques et du contexte politique.

ANNEXES

Annexe 1 : Schéma général du lit fluidisé



Annexe 2 : Schéma général de l'installation d'ozonation



Annexe 3 : Schéma général de l'installation CAP-UF

