

## Sujet de thèse : Traitement des sous-produits de chloration dans l'eau et l'air des piscines couvertes

### Contexte

La qualité microbiologique de l'eau est assurée dans 80% des piscines publiques françaises par l'utilisation de chlore comme moyen de désinfection. Cependant, cette utilisation s'accompagne de la formation de sous-produits (SPCs), indésirables car toxiques et/ou gênants pour le confort des usagers. L'exposition des baigneurs se fait principalement par voie cutanée, ingestion et/ou inhalation, suivant la volatilité des molécules.

Le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment a engagé un programme de recherche en 2013 visant à mieux comprendre la formation des SPCs, et leur transfert de l'eau vers l'air. Dans ce cadre, un bassin expérimental à l'échelle 1/10<sup>ème</sup> a été développé et permet de réaliser des expériences dans des conditions reproductibles et contrôlées (notamment de température et d'humidité), afin de mieux comprendre l'impact des conditions opératoires sur la formation des SPCs. Des outils analytiques innovants tels que la spectrométrie de masse à introduction par membrane (MIMS) ont également été développés pour suivre les SPCs sur le bassin. Deux autres bancs permettent également de réaliser des expériences complémentaires à échelle laboratoire.



*Figure 1 Bassin expérimental, pilote à échelle réduite et banc de génération de trichloramine, au C.S.T.B.*

De nombreuses solutions de traitement des SPCs sont aujourd'hui proposées dans la littérature, voire déjà mises en œuvre dans certains établissements. Le bénéfice réel de ces procédés est parfois difficilement quantifiable et attribuable de manière certaine à leur seule implantation en raison notamment de la complexité des paramètres et phénomènes mis en jeu dans un centre aquatique en exploitation. Dans ce contexte, il semble pertinent d'étudier les performances de certaines solutions en conditions contrôlées.

### Objectifs

L'objectif de la thèse est d'étudier plusieurs solutions de traitement, et de les évaluer en conditions contrôlées :

- Le strippage, qui consiste à extraire les composés les plus volatils de l'eau par l'intermédiaire d'un bullage dans le bac tampon, et qui a montré de bons résultats pour la réduction des concentrations de SPCs volatils (Gérardin et al., 2005; Tardif et al., 2017)
- L'ultrafiltration sur membrane qui permet d'éliminer une partie des précurseurs des SPCs, voire certains SPCs eux-mêmes (Klöpffel et al., 2011; Yang et al., 2017; Zwiener et al., 2007), couplée avec la filtration sur charbon actif, qui pourrait permettre d'éliminer certains SPCs et précurseurs par adsorption et dégradation (Sakuma et al., 2015; Skibinski et al., 2019; Uhl and Hartmann, 2005; Yang et al., 2018)

- La déchloration UV (Hansen et al., 2013; Li and Blatchley III, 2009; Weng et al., 2012), dont l'utilisation pourrait réduire les concentrations de certains SPCs mais également favoriser l'apparition de certains autres (Cheema et al., 2017; Cimetiere and De Laat, 2014; Soltermann et al., 2013)

Les travaux permettront dans un premier temps d'améliorer la représentativité du bassin expérimental en développant un analogue de pollution particulaire. Puis il s'agira de caractériser l'efficacité des solutions de traitement, mais également d'envisager leur combinaison et d'optimiser leurs conditions d'utilisation. Différents scénarii d'utilisation des bassins (fréquentation plus ou moins forte, vidange...) seront envisagés afin d'étudier les performances des traitements dans ces situations.

## Profil recherché

Ingénieur(e) chimiste ou Master, spécialisé(e) en chimie de l'environnement

- Très bonnes connaissances et compétences en chimie analytique pour l'environnement. Une expérience en GC-MS est un plus
- Très bonnes connaissances en chimie des procédés
- Connaissances en analyse de données. La maîtrise de R et/ou Matlab est un plus
- Très bonne autonomie et capacité d'intégration

## Informations pratiques

Localisation des travaux : CSTB Nantes

Encadrement scientifique :

- Jean-Luc Boudenne (directeur de thèse), Aix-Marseille Université
- Olivier Correc et Lucie Tsamba, C.S.T.B.
- Nicolas Cimetière, Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Rennes
- Fabien Gérardin, INRS Nancy

## Candidatures

Pour candidater, envoyer CV + lettre de motivation à [luce.tsamba@cstb.fr](mailto:luce.tsamba@cstb.fr) et [olivier.correc@cstb.fr](mailto:olivier.correc@cstb.fr).  
Merci d'indiquer également deux références.

Date limite de candidature : 31/08/2019

## Références

- Cheema, W.A., Manasfi, T., Kaarsholm, K.M.S., Andersen, H.R., Boudenne, J.-L., 2017. Effect of medium-pressure UV-lamp treatment on disinfection by-products in chlorinated seawater swimming pool waters. *Sci. Total Environ.* 599–600, 910–917. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.008>
- Cimetiere, N., De Laat, J., 2014. Effects of UV-dechloramination of swimming pool water on the formation of disinfection by-products: A lab-scale study. *Microchem. J.* 112, 34–41. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2013.09.014>
- Gérardin, F., Hecht, G., Hubert-Pelle, G., Subra, I., 2005. Traitement UV : suivi de l'évolution des concentrations en chloroforme et en trichlorure d'azote dans les eaux de baignade d'un centre aquatique. *Hygiène Sécurité Au Trav. - Cah. Notes Doc. INRS.*
- Hansen, K.M.S., Zortea, R., Piketty, A., Vega, S.R., Andersen, H.R., 2013. Photolytic removal of DBPs by medium pressure UV in swimming pool water. *Sci. Total Environ.* 443, 850–856. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.11.064>

- Klöpffel, A.M., Glauner, T., Zwiener, C., Frimmel, F.H., 2011. Nanofiltration for enhanced removal of disinfection by-product (DBP) precursors in swimming pool water—retention and water quality estimation. *Water Sci. Technol.* 63, 1716–1725. <https://doi.org/10.2166/wst.2011.213>
- Li, J., Blatchley III, E.R., 2009. UV Photodegradation of Inorganic Chloramines. *Environ. Sci. Technol.* 43, 60–65. <https://doi.org/10.1021/es8016304>
- Sakuma, M., Matsushita, T., Matsui, Y., Aki, T., Isaka, M., Shirasaki, N., 2015. Mechanisms of trichloramine removal with activated carbon: Stoichiometric analysis with isotopically labeled trichloramine and theoretical analysis with a diffusion-reaction model. *Water Res.* 68, 839–848. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.10.051>
- Skibinski, B., Worch, E., Uhl, W., 2019. N<sub>2</sub> yields from monochloramine conversion by granular activated carbons are decisive for effective swimming pool water treatment. *Water Res.* 152, 74–86. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.11.068>
- Soltermann, F., Lee, M., Canonica, S., von Gunten, U., 2013. Enhanced N-nitrosamine formation in pool water by UV irradiation of chlorinated secondary amines in the presence of monochloramine. *Water Res.* 47, 79–90. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.09.034>
- Tardif, R., Rodriguez, M., Catto, C., Charest-Tardif, G., Simard, S., 2017. Concentrations of disinfection by-products in swimming pool following modifications of the water treatment process: An exploratory study. *J. Environ. Sci.* 58, 163–172. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.05.021>
- Uhl, W., Hartmann, C., 2005. Disinfection by-products and microbial contamination in the treatment of pool water with granular activated carbon. *Water Sci. Technol.* 52, 71–76. <https://doi.org/10.2166/wst.2005.0229>
- Weng, S., Li, J., Blatchley, E.R., 2012. Effects of UV254 irradiation on residual chlorine and DBPs in chlorination of model organic-N precursors in swimming pools. *Water Res.* 46, 2674–2682. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.02.017>
- Yang, L., Chen, X., She, Q., Cao, G., Liu, Y., Chang, V.W.-C., Tang, C.Y., 2018. Regulation, formation, exposure, and treatment of disinfection by-products (DBPs) in swimming pool waters: A critical review. *Environ. Int.* 121, 1039–1057. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.10.024>
- Yang, L., She, Q., Wan, M.P., Wang, R., Chang, V.W.-C., Tang, C.Y., 2017. Removal of haloacetic acids from swimming pool water by reverse osmosis and nanofiltration. *Water Res.* 116, 116–125. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.03.025>
- Zwiener, C., Richardson, S.D., De Marini, D.M., Grummt, T., Glauner, T., Frimmel, F.H., 2007. Drowning in Disinfection Byproducts? Assessing Swimming Pool Water. *Environ. Sci. Technol.* 41, 363–372. <https://doi.org/10.1021/es062367v>