

Modélisation hydrodynamique et microbiologique des milieux aquatiques urbains pour la prévention des risques sanitaires de baignade en eau libre

Arthur Guillot – Le Goff

Depuis le début des années 2000, la pratique de la baignade en eau libre se développe dans de nombreuses régions métropolitaines. À Paris, l'organisation des Jeux olympiques en 2024 prévoyait de pérenniser des baignades dans toute l'Île-de-France. Cependant, nager dans les cours d'eau urbains présente un risque sanitaire. En région densément urbanisée, la cause des pics de contamination est connue. Lors de forts épisodes de pluie, les systèmes d'assainissement unitaires saturent et rejettent un mélange d'eaux pluviales et usées dans les rivières. Dans le cas des systèmes séparatifs, les sources ont souvent pour origine de mauvais branchements domestiques au réseau d'eau pluviale. Afin de limiter les risques sanitaires pour les baigneurs, la réglementation européenne (directive sur les eaux de baignade 2006/7/CE) prévoit un contrôle basé sur des bactéries indicatrices fécales (BIF). Actuellement, la qualité de l'eau de baignade est surveillée quotidiennement durant la saison estivale. Toutefois, le délai d'obtention des résultats des analyses réglementaires en laboratoire étant de l'ordre de 24 heures, il n'est pas possible de détecter à temps les contaminations qui devraient entraîner une fermeture de la baignade.

Pour s'affranchir de cette limite, des mesures de la qualité de l'eau peuvent être faites en amont de la zone de baignade, à une distance suffisante en fonction de la vitesse d'écoulement de l'eau pour prendre en compte le temps de l'analyse. Associée à la simulation numérique de la propagation de l'eau, éventuellement contaminée, la mesure effectuée en amont permet alors de prévoir la contamination dans la zone de baignade. Un tel système d'alerte repose donc sur deux volets : des mesures fiables et suffisamment fréquentes, et un modèle numérique précis et rapide. L'objectif de la thèse est de tester le déploiement de ce système d'alerte (mesures et modélisation) sur des sites d'étude instrumentés.

La détection à fréquence élevée et in situ des BIF est actuellement impossible. Pour parer à cela, on peut s'intéresser à l'utilisation d'une valeur de substitution ou proxy. La fluorescence de la matière organique dissoute (FDOM) peut apporter des informations sur la composition d'une matrice d'eau. Plus précisément, la FDOM de type Tryptophane (TLF) a été identifiée comme un proxy des BIF. Des capteurs de TLF ont été déployés sur deux sites d'études (le bassin de la Villette à Paris et sur la Marne à Joinville-le-Pont et Champigny-sur-Marne) pour suivre, in situ et à fréquence élevée, la qualité microbiologique des cours d'eau. Les mesures ont été comparées aux mesures réglementaires ponctuelles et à d'autres types de mesure en continu.

La mise en œuvre de modèles hydrodynamiques pour des sites de baignade en eau douce est encore rare. Or, les échelles de temps et d'espace en milieu urbain, les caractéristiques des zones de baignade, artificialisées et de fonctionnement hydraulique complexe, requièrent une modélisation hydrodynamique spécifique. Un modèle du bassin de La Villette a été développé à partir du code openTELEMAC. Il permet de représenter l'écoulement du canal pour connaître le temps de transfert des bactéries, leur distribution spatiale en fonction des caractéristiques physiques du cours d'eau (stratification thermique, zones de recirculation, etc.). L'objectif final est de pouvoir opérer ce modèle, ainsi que les mesures continues en amont pour estimer le dépassement du seuil de baignabilité et sa durée.

Enfin, une exploitation complémentaire des données bactériologiques à haute fréquence a été réalisée à partir de mesures effectuées dans la Seine à Paris. Ces nouvelles données ont permis de décrire avec une résolution temporelle fine les épisodes de contamination. En croisant ces informations bactériologiques avec des données pluviométriques, il a été possible d'étudier le continuum cause-conséquence entre les précipitations et la qualité microbiologique des cours d'eau. Sur la base de méthodes statistiques de réduction de dimension (ACP et Manifold ISOMAP), un modèle prédictif a été développé. Ce modèle, prenant en entrée des données pluviométriques, permet d'estimer la concentration maximale de BIF susceptible d'être observée, et ainsi de catégoriser les événements pluviaux en fonction de leur impact potentiel sur la qualité de l'eau.