

# Recherches sur la **qualité microbiologique** dans le **bassin de la Seine**

Depuis la découverte à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle des maladies liées à la consommation d'eau souillée, le suivi de la qualité microbiologique de l'eau a représenté un enjeu de taille pour les sociétés humaines. Sur le bassin de la Seine, l'augmentation de la population de l'agglomération parisienne a ainsi engendré des défis colossaux d'acheminement, de traitement d'eau potable et d'évacuation des eaux usées. Principale cause des gastro-entérites, la présence d'*Escherichia coli*, d'entérocoques intestinaux, de virus et d'autres parasites représente un risque permanent d'épidémies.

Autre enjeu historique, qui a repris de l'importance du fait de l'organisation des Jeux Olympiques et Paralympiques de 2024 à Paris, la baignade en eau vive dans des conditions sanitaires acceptables demeure aujourd'hui encore un défi auquel les gestionnaires de l'eau doivent faire face. Sur la Seine ou la Marne, le regard des habitants du bassin sur les milieux aquatiques évolue : la réappropriation des plans d'eau ou des rivières pour la baignade devient une question sociale importante.

Mais au-delà des questions d'enjeux sanitaires et sociaux, l'évaluation de la qualité microbiologique soulève des interrogations quant aux normes et aux indicateurs utilisés aujourd'hui. La quantité de bactéries indicatrices fécales qui demeure l'indicateur historique de la qualité microbiologique, est-elle toujours suffisante ? Depuis 30 ans, les chercheurs du PIREN-Seine et leurs partenaires opérationnels travaillent ensemble sur ces questions majeures et développent de nouveaux outils de suivi, caractérisant toujours mieux le fonctionnement du bassin.



## Les recherches sur la **qualité microbiologique** au PIREN-Seine

Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2020, le PIREN-Seine est entré dans sa phase 8, qui s'achèvera le 31 décembre 2023. Si la qualité microbiologique est étudiée depuis longtemps au PIREN-Seine, l'enjeu de la baignade en eau vive a remis cette question de recherche au cœur de la phase 8. Plusieurs actions de l'axe 4, dont l'encadrement d'une thèse, sont ainsi consacrées à cette question interdisciplinaire, mêlant sociologie, microbiologie, modélisation, campagnes de terrain et acquisition de données.

**AXE 1 :** Trajectoires du bassin, de ses tissus urbains et agricoles, et de ses territoires.

**AXE 2 :** Fonctionnement du bassin soumis à des extrêmes hydro-climatiques.

**AXE 3 :** Construction de la qualité des milieux aquatiques conciliant risques hydrologiques et biodiversité.

**AXE 4 : Ambitions et enjeux pour la Métropole en 2024 et après.**

**AXE 5 :** Dynamique des contaminants : de la compréhension des processus au métabolisme territorial.

**AXE 6 :** Transfert de connaissances et mise à disposition des données.



## La microbiologie : une contamination anthropologique

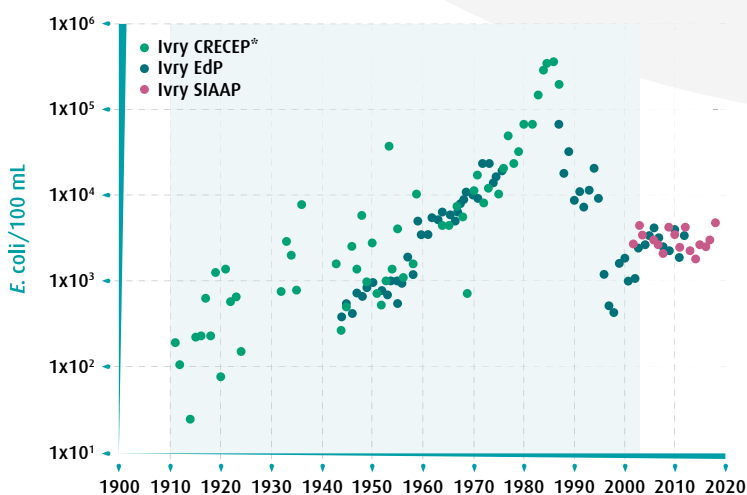
La gestion de la qualité microbiologique de l'eau du bassin de la Seine répond avant tout à des enjeux sanitaires. Les agents pathogènes présents dans l'eau peuvent entraîner de nombreuses maladies en cas d'ingestion, dont la gastro-entérite reste la conséquence la plus fréquente et la plus préoccupante pour les traiteurs d'eau.

### L'indicateur « BIF »

Sur le bassin de la Seine comme ailleurs, la grande majorité des micro-organismes à l'origine de ces maladies sont d'origine fécale, humaine ou animale. Ces micro-organismes fécaux problématiques sont divisés en plusieurs familles : les bactéries, les virus, les protozoaires et les helminthes (vers parasites). En tout, plusieurs dizaines d'agents pathogènes peuvent poser divers problèmes sanitaires pour la population du bassin, dont l'alimentation en eau potable est, pour 40%, originaire des eaux de surface.

Cette diversité de pathogènes rend extrêmement difficile leur suivi dans l'environnement, et l'évaluation des risques d'une contamination. Face à cette difficulté, les chercheurs et autorités sanitaires se sont historiquement appuyés sur un indicateur principal, permettant de suivre les niveaux de contamination et d'établir des normes de potabilité et de baignabilité : les bactéries indicatrices fécales (BIF).

L'indicateur se base sur une notion simple : la concentration de certaines bactéries d'origine fécale, notamment les *Escherichia coli* (EC) et les entérocoques intestinaux (EI), est le signe d'un risque de présence d'autres pathogènes, également d'origine fécale, dans l'environnement. Aujourd'hui, cet indicateur facile à suivre sert de base à la surveillance de la contamination des milieux aquatiques par les pathogènes.



Trajectoire historique de la moyenne\*\* des concentrations des *E. coli* en Seine, à Ivry, de 1910 à 2018. Issu de Mouchel et al., 2021.

\*Le CRECEP (Centre de recherche, d'expertise et de contrôle des eaux de Paris) était un laboratoire chargé d'analyser la qualité de l'eau, liquidé en 2009. Eau de Paris (EdP), en a repris une partie des activités.

\*\* Moyenne géométrique

### Une trajectoire historique

Développé à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle, le suivi de cet indicateur a permis aux chercheurs du PIREN-Seine de reconstruire la trajectoire historique de la contamination microbiologique de la Seine de 1910 à aujourd'hui. Ils ont ainsi pu montrer la profonde dégradation de la qualité de l'eau jusque dans les années 1980, puis l'amélioration substantielle de celle-ci suite aux efforts de régulation et à l'amélioration récente des techniques d'épuration. Mais l'évolution de la technique n'est pas toujours corrélée à l'évolution des normes ou des usages. Ainsi, si la baignade récréative en Seine et en Marne est attestée dès le XVIII<sup>ème</sup> siècle, les interdictions de baignade de 1867 pour Paris et de 1923 pour la banlieue répondaient davantage à un impératif de contrôle social que de protection sanitaire. La pratique a d'ailleurs persisté en Marne jusque dans les années 1960, avant que la pollution ne vienne finalement sceller le sort de la baignade en eau vive sur le bassin. La deuxième moitié du XX<sup>ème</sup> siècle consacre alors l'image de l'eau comme système d'évacuation des déchets, et la population n'associe plus la présence de l'eau en ville à un usage récréatif.

Or, c'est précisément à cette période que sont établies les normes de qualité pour la baignade : aujourd'hui déterminées par la Directive européenne 2006/7/CE, ces normes de qualité sont directement inspirées des recommandations de l'OMS des années 1970, et ne sont pas établies sur la base de travaux menés sur les usages réels de baigneurs en Seine. En outre, malgré les améliorations des techniques d'épuration, les niveaux de contaminations dépassent encore très souvent ces seuils de baignabilité.

Plusieurs limites apparaissent aujourd'hui aux yeux des spécialistes du domaine, appelant à de nouvelles recherches pluri- et interdisciplinaires : l'indicateur BIF est-il encore le seul outil pertinent face aux nouveaux défis de la gestion de la qualité microbiologique de l'eau au XXI<sup>ème</sup> siècle ?

	Excellent	Bon	Suffisant	Mauvais	Potable
<i>E. coli</i>	<500*	<1000*	<900**	>900**	0
IE	<200*	<400*	<330**	>330**	0

Données à collecter durant 4 années, en unités formant colonie (UFC) dans 100 mL d'eau

\*\* quantile 90 % \* quantile 95 %

Tableau de référence de la qualité microbiologique de l'eau pour l'autorisation de la baignade selon la directive européenne 2006/7/CE (à gauche), et norme de potabilité (à droite).

# De nouveaux champs de recherche à explorer

## Dépasser l'indicateur BIF

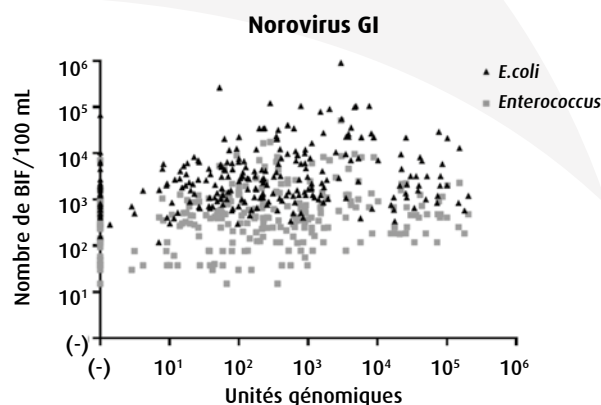
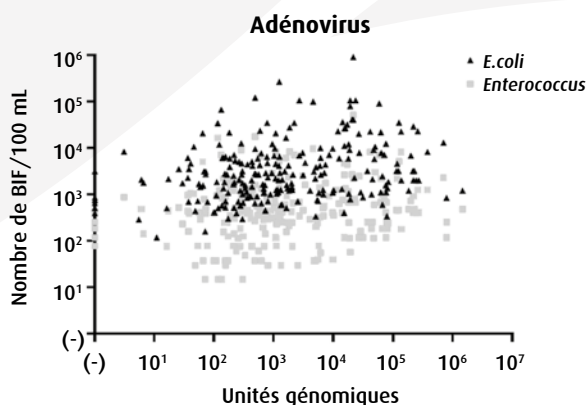
Si l'indicateur BIF a joué un rôle fondamental dans le suivi et l'amélioration de la qualité de l'eau, il n'apparaît plus aujourd'hui suffisant pour résumer la qualité microbiologique du milieu.

L'impact de la saisonnalité, la remobilisation par la navigation de sédiments contaminés, l'emplacement des stations d'épuration sur le continuum aquatique, et l'impossibilité de différencier les BIF d'origine humaine de celles issues des animaux sont autant de facteurs qui limitent la corrélation entre cet indicateur et un nombre important d'agents pathogènes. Et sur le sujet, les dernières études menées au PIREN-Seine sont formelles : la seule présence de BIF ne renseigne pas sur la concentration réelle de certains micro-organismes, et donc sur le risque d'une contamination. *Adénovirus*, *Norovirus*, bactéries *Leptospires*, protozoaires parasites tels que *Cryptosporidium* ou encore *Giardia*, la présence de nombreux micro-organismes potentiellement vecteurs de maladies ne semblent ainsi pas corrélée avec celle des BIF. Pour poursuivre les objectifs de suivi et d'amélioration de la qualité

microbiologique des milieux aquatiques, d'autres organismes doivent donc désormais faire l'objet d'un suivi spécifique.

Outre l'amélioration des techniques de traitement des eaux, les chercheurs du PIREN-Seine explorent donc plusieurs pistes de recherche. A titre d'exemple, la compensation des dépassements liés aux épisodes pluvieux par l'amélioration de l'infiltration des eaux pluviales, ou le développement d'indicateurs de contamination virale liés aux phages, ou encore le suivi de biomarqueurs chez des espèces sentinelles telles que la Dreissène, font aujourd'hui partie des travaux innovants menés par les scientifiques et les gestionnaires du bassin.

La nature profondément interdisciplinaire du PIREN-Seine permet ainsi de dresser des passerelles entre les différents travaux de recherche. Des liens avec les études sur l'antibiorésistance de certaines bactéries et de leur devenir dans l'environnement sont ainsi en cours de construction, afin de produire une connaissance fine et intégrée du fonctionnement global de l'anthroposystème Seine.



Suivi de la concentration en *Adénovirus* et *Norovirus GI* de l'eau de la Seine, au regard de la concentration en BIF.

En cas de corrélation, une diagonale devrait apparaître pour faire correspondre une certaine quantité de BIF à une quantité donnée de virus. Ici, la décorrélacion de concentration entre les virus et les BIF (écart horizontal) peut atteindre un facteur 5.

La même observation a été faite avec les *Norovirus GII* et *Rotavirus*. Issu de Prévost et al. (2015)

## Sur la piste des virus

Dès le début de l'épidémie en France de COVID-19 en mars 2020, les équipes du PIREN-Seine, en partenariat avec le SIAAP et Eau de Paris, ont travaillé à développer un indicateur de contamination des eaux usées, pour suivre la propagation de la maladie dans les grandes agglomérations. En suivant le *Coronavirus* dans les eaux usées, cet indicateur pourrait constituer un outil précieux pour l'aide à la décision publique.

Dans le bassin de la Seine, l'ensemble des acteurs concernés s'est donc réuni autour d'un projet collectif d'ampleur, auquel les chercheurs et partenaires du PIREN-Seine participent activement : le réseau OBEPINE. A terme, ce réseau a pour ambition de proposer un observatoire épidémiologique des eaux usées, outil qui apparaît aujourd'hui indispensable dans la lutte contre les épidémies.

Si ce travail a pu être accompli avec une telle rapidité, c'est avant tout grâce aux nombreuses recherches menées depuis une dizaine d'années dans le bassin pour développer des techniques de détection et de suivi des virus dans les eaux usées. *Entérovirus*, *Rotavirus*, *Adénovirus*, la liste des virus nécessitant un suivi est longue, et la présence de chacun d'eux appelle à un traitement spécifique, en amont pour la potabilisation, comme en aval avant le rejet dans l'environnement.

Aujourd'hui plus que jamais, le suivi de ces organismes particuliers apparaît nécessaire, tant les dangers qu'ils font peser sur la santé publique sont grands.

## Des enjeux de gestion à l'image de l'évolution de la société

Si la gestion de la qualité microbiologique de l'eau répond bien à un impératif sanitaire, elle soulève également des questions sociales, liées aux usages de l'eau et aux attentes de la population vis-à-vis des milieux aquatiques. Car si la baignade en eau vive revêt aujourd'hui une importance cruciale pour la tenue des Jeux olympiques et paralympiques de Paris en 2024, elle est également le signe d'un changement de point de vue sur la place de l'eau dans la ville et dans les territoires.

### Des normes et des usages à questionner

Les normes de qualité n'ont un sens qu'au regard des usages de l'eau et d'un bénéfice/risque attendu. Or, ces usages évoluent. Le désir des habitants du bassin de la Seine de se réapproprier la baignade en eau vive s'inscrit dans une trajectoire d'évolution de la place accordée à l'eau dans la société. Chenalisés, aménagés, ou renaturés, les cours d'eau, leur usage et leur visibilité sont au cœur de nombreuses questions sociales que les chercheurs du PIREN-Seine s'emploient à étudier. Les travaux historiques ont ainsi déterminé que certaines normes actuelles pouvaient ne pas correspondre à des impératifs

contemporains. Dès lors, comment savoir si les normes actuelles correspondent au ratio « bénéfice récréatif »/« risque sanitaire » acceptable pour la baignade en 2021 ? Réinterroger la norme selon les usages représente un enjeu de taille pour les gestionnaires.

### Un levier pour une transition durable ?

Au-delà de ces enjeux de normes, l'étude de la qualité microbiologique des milieux aquatiques interroge aujourd'hui tout le rapport de la société humaine vis-à-vis du cycle de l'eau. De la linéarité du système d'acheminement et de traitement des eaux usées à nos consommations de médicaments entraînant le développement d'une forte antibiorésistance, en passant par la place des usages récréatifs de l'eau dans les territoires urbains et ruraux, le PIREN-Seine met son interdisciplinarité au service d'études transversales sur les transitions sociotechniques qui ont lieu sur le bassin. Alliant trajectoire historique, modélisation, expérimentation et scénarisation, le prisme de la baignade en eau vive pourrait être le levier d'une transformation plus vaste de l'anthroposystème Seine.

Cette fiche s'appuie en grande partie sur des recherches que **Pierre Servais** a menées et/ou initiées en microbiologie environnementale. Professeur à l'Université Libre de Bruxelles et chercheur au PIREN-Seine depuis le début du programme en 1989, Pierre est décédé le 7 août 2021. Toutes les équipes du programme tiennent à saluer la mémoire d'un collègue exceptionnel au professionnalisme remarquable, dont les nombreux travaux ont contribué à mieux comprendre le fonctionnement écologique du bassin de la Seine.

Sources bibliographiques : [https://www.piren-seine.fr/fr/4\\_pages/microbiologie](https://www.piren-seine.fr/fr/4_pages/microbiologie)



Pour plus d'informations,  
rendez-vous sur  
[www.piren-seine.fr](http://www.piren-seine.fr)

Contact :  
alexandre.delomenie  
@arceau-idf.fr



Crédits photos : Bandeau : Domaine public  
Encart P1 : Lionel Allorge - Encart P4 : Apur Luxigon,  
Ville de Paris

Edition : ARCEAU-IDF 2021 - [www.arceau-idf.fr](http://www.arceau-idf.fr)

Création graphique : id bleue (Sablé)  
[www.idbleue.com](http://www.idbleue.com)

ISSN : 2610-0916

Le **PIREN-Seine** est un programme de recherche interdisciplinaire dont l'objectif est de développer une vision d'ensemble du fonctionnement du bassin versant de la Seine et de la société humaine qui l'investit, pour permettre une meilleure gestion qualitative et quantitative de la ressource en eau.

Cette fiche est éditée par la *Cellule transfert* du PIREN-Seine, animée par l'association ARCEAU-IDF.

#### Les partenaires opérationnels de la phase 8 du PIREN-Seine



#### Les partenaires scientifiques de la phase 8 du PIREN-Seine

