



HAL
open science

Vers une réouverture de la baignade en Marne grâce à un modèle 2D de l'hydrodynamique et des bactéries fécales

Guido Petrucci, Lan Anh Van, Francesco Piccioni, Colombine Lorrain,
Françoise Le Marrec, Aurélie Janne

► To cite this version:

Guido Petrucci, Lan Anh Van, Francesco Piccioni, Colombine Lorrain, Françoise Le Marrec, et al.. Vers une réouverture de la baignade en Marne grâce à un modèle 2D de l'hydrodynamique et des bactéries fécales. Novatech 2023, Graie, Jul 2023, Lyon, France. hal-04186341

HAL Id: hal-04186341

<https://hal.science/hal-04186341v1>

Submitted on 18 Sep 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Vers une réouverture de la baignade en Marne grâce à un modèle 2D de l'hydrodynamique et des bactéries fécales

A 2D model of hydrodynamics and faecal bacteria to reopen bathing sites in the Marne River

Guido Petrucci¹, Lan Anh Van¹, Francesco Piccioni¹, Colombine Lorrain¹, François Le Marrec¹, Aurélie Janne²

1 : PROLOG INGENIERIE, 69-71 rue du Chevaleret, 75013, Paris. petrucci@prolog-ingenierie.fr

2 : Syndicat Marne Vive, Hôtel de Ville, Place Charles de Gaulle, 94100 Saint-Maur-des-Fossés, aurelie.janne@marne-vive.com

RÉSUMÉ

Reconquérir une qualité de baignade dans les cours d'eau est une demande croissante dans les zones urbaines, qui doit composer avec des réseaux d'assainissement qui exercent une forte pression sur la qualité bactériologique. La Marne, en région parisienne, s'approche d'une qualité suffisante, et une modélisation 2D de sa partie aval (40 km) a été entreprise pour améliorer la maîtrise de sa dynamique bactériologique. Le modèle utilisé est TELEMAC, et un calage par temps sec et par temps de pluie a été réalisé à partir de plusieurs jeux de données disponibles. Les résultats du calage sont satisfaisants, et montrent l'importance de connaître finement les réseaux d'assainissement du secteur et leur fonctionnement, afin de bien déterminer les rejets vers le cours d'eau et leur impact sur la qualité du milieu naturel.

ABSTRACT

Achieving a bathing water quality in urban rivers is an increasing demand in many areas, while sewer systems exert a strong pressure on bacterial quality. The Marne River, in the Paris region, is getting closer to a sufficient quality for bathing. To improve the understanding and management of its bacterial quality, a 2D model of its downstream reach is realised (40 km). The model used is TELEMAC, and it is calibrated in dry and wet weather using several available datasets. The calibration is satisfying, and it stresses the importance of a detailed knowledge of sewer networks and their functioning, to correctly estimate the outflows to the river.

MOTS CLÉS

Eau de baignade, Escherichia coli, Marne, Modélisation 2D, Rivières urbaines

2D model, Bathing water quality, Escherichia coli, Marne, Urban river

1 CONTEXTE

La baignade dans les cours d'eau et en zone urbaine est un sujet de plus en plus central dans la gestion des ressources en eau et le métabolisme des territoires, tant en France que dans le reste de l'Europe. Il se situe, en effet, au croisement de deux enjeux majeurs : la réappropriation des cours d'eau par les habitants via de usages nouveaux ou redécouverts, et l'adaptation des villes à des situations de forte chaleur.

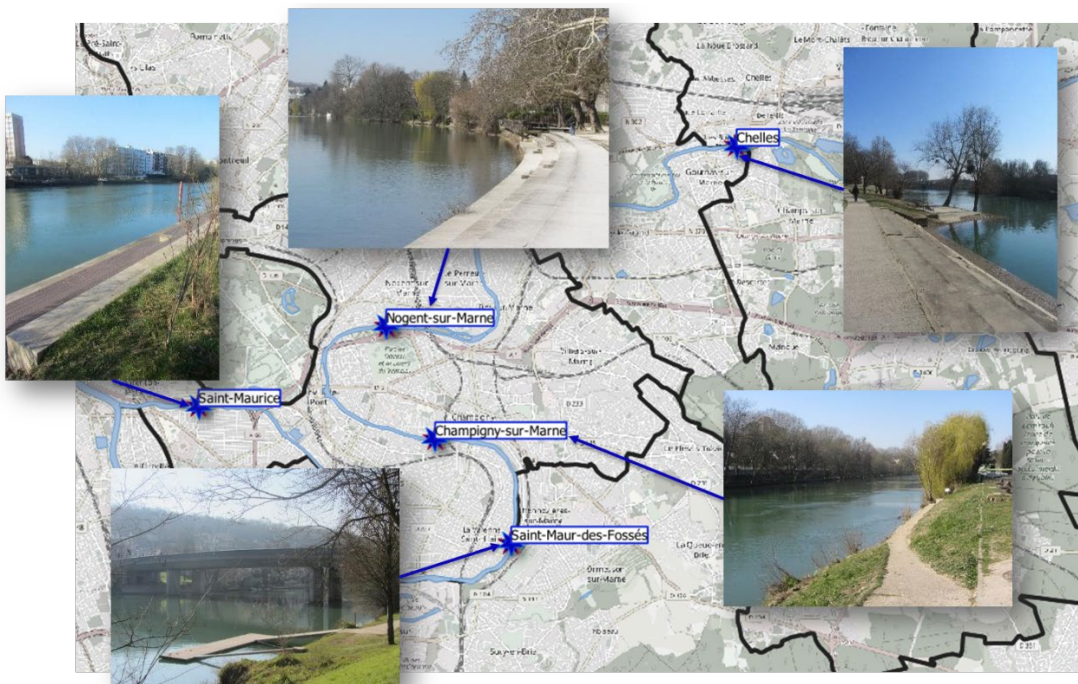
Pourtant, atteindre une qualité suffisante pour la baignade dans les agglomérations reste très difficile, car les réseaux d'assainissement exercent une forte pression sur la qualité bactériologique, qui est sensible même à de très petites perturbations.

La Marne, dans son cours aval très urbanisé, est au centre d'enjeux multiples – navigation commerciale et de plaisance, tourisme fluvial, aménités de loisir, production d'eau potable et industrielle, ...- vis-à-vis desquels le Syndicat Marne Vive (SMV) œuvre pour concilier les usages, tout en préservant la qualité écologique de la rivière.

Retrouver l'usage de la baignade en Marne, qui constituait une activité majeure au cours de la première moitié du XX^{ème} siècle, est une des missions statutaires du Syndicat.

Aujourd'hui, les concentrations en bactéries indicatrices fécales (BIF) sont suffisamment faibles pour anticiper la réouverture de certains sites de baignade à court terme, et 5 villes se sont portées candidates. Néanmoins, plusieurs sources de contamination sont toujours présentes et la réglementation impose de les connaître et de les maîtriser.

Figure 1 : le cours aval de la Marne et les 5 sites candidats à la réouverture de la baignade



Afin de satisfaire à la demande réglementaire, mais aussi d'approfondir la compréhension de la dynamique bactériologique en Marne et de définir les actions à entreprendre pour atteindre la baignabilité, une modélisation hydrodynamique en 2D de la Marne a été réalisée sur plus de 40 km, permettant de décrire le transport et la dynamique des bactéries. Le choix de la 2D est dictée par le besoin de connaître les concentrations en BIF précisément aux lieux de baignade, alors que les mesures réalisées par le passé indiquent de fortes variations transversales des concentrations en fonction des courants et de la proximité des rejets.

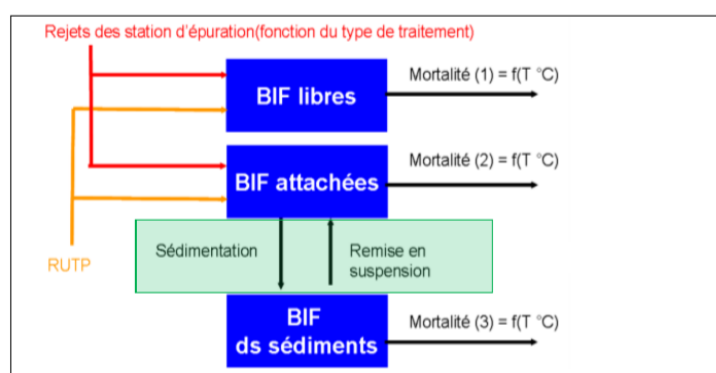
Etant donné la complexité du bassin versant et des rejets associés (réseaux pluviaux présentant des mauvais branchements, secteurs en assainissement non-collectif, bateaux-logements, deux stations d'épuration, plusieurs dizaines de déversoirs d'orage etc.), une analyse précise des apports, tant par temps sec que par temps de pluie, a été nécessaire pour alimenter le modèle et reproduire les mesures dans le cours d'eau.

2 MODELISATION

2.1 Modèle retenu

Le choix s'est porté sur le modèle Telemac développé par EDF et en accès libre, ainsi que sur sa librairie WAQTEL pour la qualité de l'eau. Les raisons de ce choix sont principalement la qualité reconnue du modèle, sa flexibilité (possibilité de modifier/développer des compléments en ayant accès au code), la possibilité de réaliser avec un même outil des simulations en 2D et en 3D (possibilité de réaliser des « zoom » autour des sites de baignade). En plus, il est nécessaire de modéliser l'évolution des BIF dans différents compartiments (cf. figure ci-après), ce qui est permis par WAQTEL. Pour plus de détail sur le choix du modèle, voir Van et al. (2022).

Figure 2 : schéma de la dynamique bactériologique modélisée



N.B. : certaines fonctionnalités du modèle n'ont pas été mise en œuvre dans le projet en cours sur la Marne, par ex. la dépendance des mortalités aux températures, nécessaire pour des applications à l'échelle annuelle, ne s'est pas démontrée essentielle pour une étude « baignade », concentrée sur l'été.

2.2 Construction du modèle

La construction et le calage du modèle se sont appuyés sur :

- Une reconstitution de la bathymétrie de la Marne sur la zone d'étude, à partir de données fournies par VNF, l'EPTB Seine Grands Lacs, ou collectées par SMV et PROLOG INGENIERIE ;
- Des mesures de vitesses 3D sur plusieurs sections de la Marne modélisée ;
- Plusieurs séries de mesures des BIF (Figure 3) :
 - Un profil en long de la Marne réalisé avec 3 prélèvements par km (un au centre et un à 10 m de chaque rive) réalisé par le Piren-Seine le 21 et 22 août 2017, par temps sec (Mouchel et al., 2018) ;
 - Une série de campagnes estivales réalisées par le SMV en 2015 et de 2017 à 2022, à environ une quinzaine de point à proximité des berges, avec un à trois échantillons par semaine (Lucas et al., 2020) ;
 - Trois profils transversaux réalisés à l'été 2022 sur 9 points par section à différentes profondeurs.
- Un inventaire détaillé des rejets des réseaux d'assainissement vers la Marne par temps sec. Cet inventaire a été construit à partir des données fournies par les gestionnaires des réseaux du secteur, mais aussi par des inspections et des campagnes de mesure réalisées par PROLOG INGENIERIE dans le cadre de l'étude.
- Une modélisation des rejets des réseaux d'assainissement par temps de pluie, utilisant les modèles mis à disposition par les Départements de Seine-Saint-Denis et du Val-de-Marne, permettant d'estimer les rejets des déversoirs d'orage.

2.3 Calage

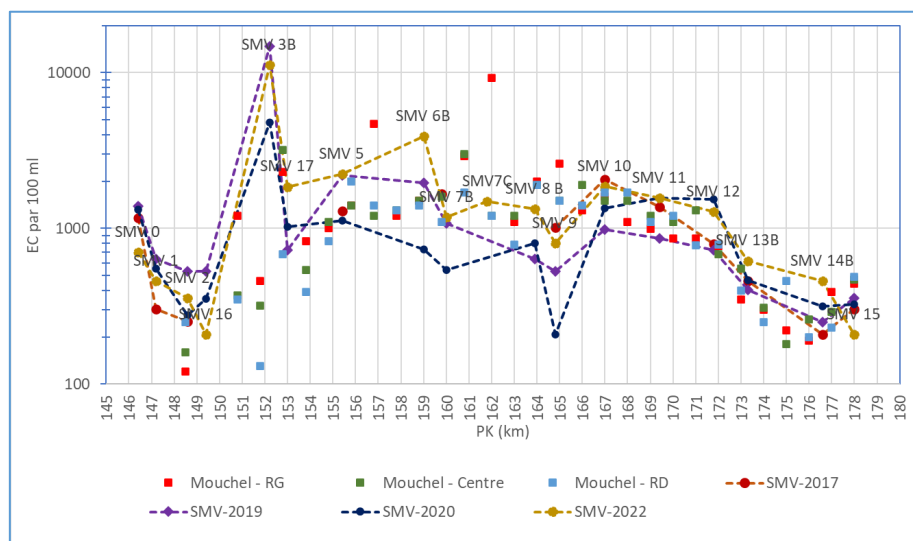
Le modèle a été calé sur deux périodes de temps sec pour les paramètres hydrodynamiques (frottement sur le fond) et bactériologiques (mortalité, vitesse de chute des bactéries attachées), ainsi que sur une période de

temps de pluie.

Il est à signaler que le travail de calage le plus important a été fait sur les rejets, qui ont dû être précisés, complétés et repris de manière itérative afin d'arriver à bien reproduire la qualité observée de la Marne, compte tenu de la variabilité interannuelle des concentrations : la concentration moyenne sur un point peut varier d'un facteur 2 ou 3 d'une année à l'autre (figure 3).

A la fin du processus, 44 rejets de temps sec sont modélisés, comprenant des affluents, des stations d'épuration et, pour la plupart, des réseaux d'eaux pluviales présentant des mauvais branchements. Par temps de pluie, 73 rejets sont modélisés avec, quand possible, des hydrogrammes et des pollutogrammes variables au fil du temps.

Figure 3 : Evolution longitudinale des teneurs en *E. coli* par temps sec sur la Marne (Q entre 30 et 40 m³/s), comparaison interannuelle (PK=point kilométrique)



3 RESULTATS ET DISCUSSION

Le calage a permis d'obtenir des résultats tout à fait satisfaisants, avec une bonne représentation de la qualité observée de la Marne par temps sec (Figure 4).

Par temps de pluie, le calage est beaucoup plus complexe en raison de la variabilité spatiale et temporelle des phénomènes (pluie, réaction des réseaux d'assainissement, concentrations en bactéries), mais surtout du manque de données. D'une part, parce que les quelques mesures bactériologiques disponibles sur les effluents ont principalement eu lieu par temps sec, ce qui oblige à utiliser des valeurs standards issus de la littérature pour construire les pollutogrammes (10^4 *E. coli*/100 mL pour les eaux pluviales, 10^7 *E. coli*/100 mL pour les eaux usées) de temps de pluie. D'autre part, parce que les mesures de qualité en Marne permettant de valider le modèle sont aussi peu nombreuses par temps de pluie. Même en choisissant judicieusement l'évènement de calage, une seule mesure par point est disponible.

Le calage par temps de pluie vise donc à vérifier que, au-delà des décalages temporels et des incertitudes, les concentrations sont estimées dans les bons ordres de grandeur (Figure 5).

Les principaux enseignements de la construction et du calage du modèle sont :

- L'importance majeure, dans le contexte d'un secteur fortement urbanisé et peuplé, de connaître finement les réseaux d'assainissement et leur fonctionnement. Même en ayant choisi un modèle pertinent, il est nécessaire d'avoir un maximum de données sur les rejets ou d'être en condition de poser les bonnes hypothèses pour représenter correctement la dynamique bactériologique. L'implication des gestionnaires des réseaux dans de tels exercices est donc prioritaire.
- Les difficultés à disposer de suffisamment de données par temps de pluie suggère que, dans des conditions similaires, il faut envisager des campagnes de mesure spécifiques, par des échantillonnages à intervalles régulières et rapprochés après des précipitations, ou éventuellement par des méthodes « rapides ».

Figure 4 : Evolution longitudinale des teneurs en *E. coli* par temps sec sur la Marne, comparaison entre le modèle (lignes continues) et les données de Mouchel et al. (2018) (points)

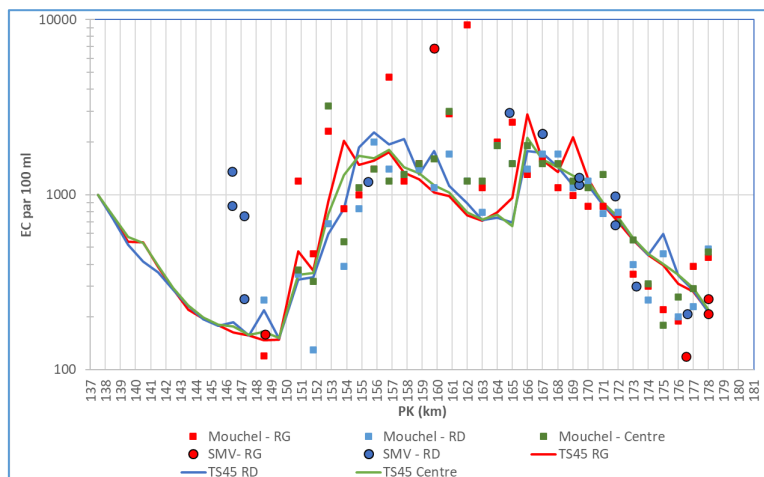
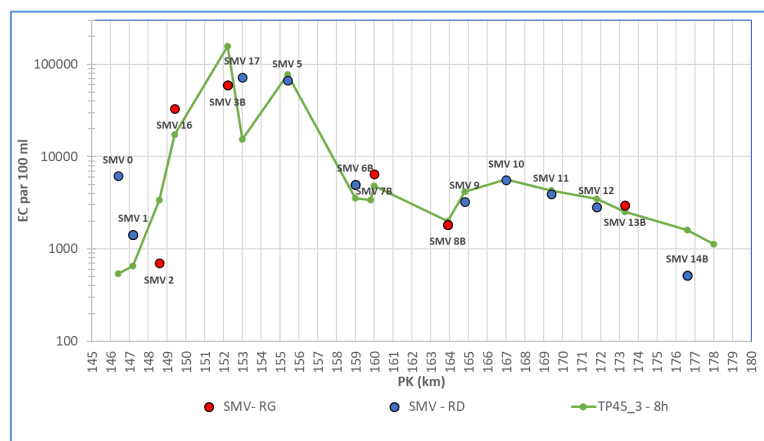


Figure 5 : Evolution longitudinale des teneurs en *E. coli* par temps de pluie sur la Marne, comparaison entre le modèle à 8h du matin du 20/06/19 (ligne continue) et les données SMV du même jour (points)



4 PERSPECTIVES

Le modèle construit permet d'identifier les sources de pollution qui impactent spécifiquement chaque site candidat à la baignade. Les applications prévues pour ce modèle sont :

- Préciser les sources de pollution qui provoquent un déclassement systématique des eaux d'un site de baignade,
- Elaborer des mesures de gestion des sites de baignade : détermination de facteurs dégradant la qualité sanitaire de l'eau et pendant combien de temps,
- Permettre, en perspective, de construire une plateforme de gestion de la baignade en temps réel.

BIBLIOGRAPHIE

Lucas, F.S., Servais, P., Janne, A. (2020). *Synthèse des campagnes estivales 2015-2019*. Qualité bactériologique de l'aval de la Marne, Rapport. Syndicat Marne Vive, 20 p.

Mouchel, J.-M., Colina-Moreno, I., Kasmi, N. (2018). *Évaluation des teneurs en bactéries indicatrices fécales en Seine dans l'agglomération Parisienne par temps sec*. Piren Seine, 79 p.

Van, L.-A., Nguyen, K.-D., Le Marrec, F., Jairy, A. (2022). *Development of a Tool for Modeling the Fecal Contamination in Rivers with Turbulent Flows—Application to the Seine et Marne Rivers (Parisian Region, France)*. Water 2022, 14(8), 1191