

Vers un modèle de la contamination fécale en Seine par temps de pluie

Pierre Servais^{1,*}, Michel Poulin², Nicolas Flipo², Ludivine Lesage^{3,5}, Vincent Rocher³, Alexandre Goncalves³, Sophie Masnada³, Françoise Lucas⁴ & Jean Marie Mouchel⁵

¹ Ecologie des Systèmes Aquatiques, Université Libre de Bruxelles

² Géosciences, Mines ParisTech

³ Syndicat Interdépartemental d'Assainissement de l'Agglomération Parisienne

⁴ LEESU, Université Paris-Est

⁵ UMR Sisyphe, UPMC

* personnes à contacter : pservais@ulb.ac.be, michel.poulin@mines-paristech.fr

1 Introduction

Grâce à l'amélioration des traitements dans les stations d'épuration de la région parisienne par temps sec, les rejets urbains de temps de pluie (RUTP) sont aujourd'hui devenus, à l'échelle annuelle, la source prédominante de contaminants microbiens rejetés en Seine. Dans ces conditions, il est important d'améliorer nos connaissances sur les flux de contaminants microbiens rejetés par les RUTP et il y a un grand intérêt évident à disposer d'un modèle de la qualité microbiologique susceptible de décrire les situations de temps de pluie en Seine, situations qui sont en général les plus dégradées du point de vue qualité microbiologique.

Afin d'atteindre ces deux objectifs, des mesures de qualité microbiologique (concentration en bactéries indicatrices de contamination fécales, BIF) ont été réalisées dans le cadre du programme PIREN-Seine à la fois dans des RUTP et en Seine à la suite de déversements. Par ailleurs, un module décrivant la dynamique des BIF a été implémenté dans le modèle ProSe et des simulations d'impact des RUTP sur la qualité microbiologique ont été réalisées.

Ce rapport présente d'abord les résultats expérimentaux de qualité microbiologique obtenus à la fois dans les RUTP et en Seine à la suite de déversements. Ces résultats concernent une campagne menée durant l'été 2008 lors du plus gros déversement de l'année. Ils concernent également des mesures effectuées par une personne recrutée par le PIREN-Seine (Ludivine Lesage) qui a travaillé durant l'été 2010 en étroite collaboration avec le SIAAP pour acquérir un ensemble de données à la fois sur les teneurs en BIF dans les RUTP et sur les teneurs en BIF à l'aval des déversements de l'agglomération parisienne.

Ce rapport présente ensuite le module décrivant la dynamique des BIF dans le milieu aquatique récepteur, module couplé au modèle ProSe (Even et al., 2007a, 2007b, Tabuchi et al., 2008) afin de pouvoir simuler l'impact en Seine des déversements de temps de pluie sur la qualité microbiologique. Des simulations ont été réalisées pour la période juillet-septembre 2010 dans le secteur de la Marne de Noisiel à la confluence Seine-Marne et dans la Seine d'Ablon à Poissy. Les résultats de ces simulations sont présentés dans la dernière partie de ce rapport.

2 Résultats expérimentaux

2.1 Campagne d'août 2008

Le but de la campagne réalisée en 2008 lors du plus important déversement de l'année à Clichy était, d'une part, de caractériser la qualité microbiologique des RUTP en terme de concentrations en BIF (seuls les résultats concernant les *Escherichia coli* sont présentés dans ce rapport) et, d'autre part, d'étudier le devenir des BIF en rivière en aval d'un RUTP. A cet effet, des mesures de qualité microbiologique dans le rejet et dans la Seine ont été réalisés lors du déversement en Seine à Clichy

début août 2008 (07/08/08). La stratégie d'échantillonnage utilisée lors de cette campagne est décrite de manière détaillée dans Mouchel et al. (2009). Les résultats des mesures de qualité microbiologique ont fait l'objet d'une publication (Passerat et al., 2011) dont sont issues les figures présentées dans cette section.

2.1.1 Mesures dans le déversement

Pour les mesures de dénombrement des *E. coli*, douze échantillons ont été prélevés au cours du déversement (échantillons composites de l'eau du déversement par demi-heure) et analysés par mise en culture sur gélose spécifique. La fraction des *E. coli* attachés aux MES a été déterminée par mesure enzymatique (Garcia-Armisen et Servais, 2009). Des mesures de MES et de conductivité ont été réalisées en parallèle avec les analyses microbiologiques. La figure 1 présente les résultats des mesures effectuées dans le déversement.

Le déversement du début août 2010 a duré 6 heures entre 5h50 et 11h50 et le volume déversé en Seine à Clichy a été de 578705 m³. Le débit moyen du déversement a été de 26,8 m³/s et le débit maximum de 45,4 m³/s. La conductivité des 12 échantillons présente d'importantes variations, avec un maximum de 518 µS/cm durant la première demi-heure et un minimum de 143 µS/cm durant la troisième demi-heure (Figure 1A). Les fractions d'eau provenant de l'eau usée et celle provenant du ruissellement ont été calculées sur base des conductivités moyennes des eaux de ruissellement (100 µS/cm) et des eaux usées (1070 µS/cm)(voir section 2.2 de ce rapport). La proportion d'eau de ruissellement varie dans les 12 échantillons de 61 à 96% (Figure 1B); ces valeurs sont très élevées et en lien direct avec l'intensité de l'événement pluvieux. En se basant sur la teneur moyenne en MES des eaux brutes arrivant à la station Seine-Centre (264 mg/l), on a calculé pour chaque échantillon du déversement la teneur en MES provenant des eaux usées et celle-ci a été comparée aux teneurs mesurées dans le déversement (Figure 1C). Sur l'ensemble du déversement, la fraction des MES ne provenant pas des eaux usées a été estimée à 86%. Les MES pouvant provenir des eaux de ruissellement ne suffisent pas à expliquer les teneurs en MES mesurées ; ce bilan indique donc qu'une forte remise en suspension de MES décantée dans les collecteurs a eu lieu lors de cet événement pluvieux majeur. Les teneurs en *E. coli* dans le déversement varient entre 6,4 x 10⁶/100 ml durant la première demi-heure et 3,8 x 10⁵/100ml durant la troisième demi-heure (Figure 1D). La proportion de *E. coli* attachés aux MES a été maximale au début du déversement (91%) et a été en moyenne de 77 % sur l'ensemble du déversement.

La figure 2 présente les teneurs en *E. coli*, d'une part mesurées, et d'autre part, calculées en considérant les eaux usées comme seule source de *E. coli* en fonction de la part d'eau usée dans le déversement. On observe que les valeurs mesurées sont quasi toutes au dessus du trait plein indiquant une autre source de *E. coli* que l'eau usée. Comme les teneurs en *E. coli* des eaux de ruissellement sont connues pour être faible (de 10³ à 10⁴/100ml selon la littérature), il convient d'expliquer les teneurs mesurées par une remise en suspension importante de *E. coli*, ce qui est tout à fait en accord avec les fractions élevées de *E. coli* attachés aux particules mesurées durant ce déversement.

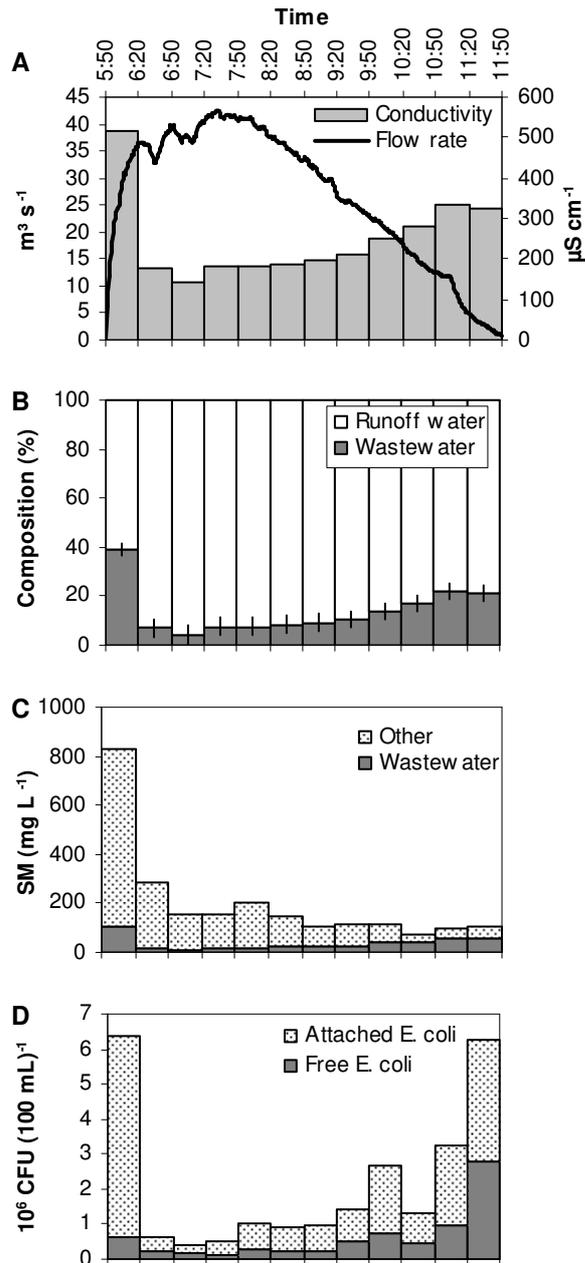


Figure 1 : Variations de certains paramètres durant le déversement : (A) Débit et conductivité. (B) composition du déversement en terme d'eau usée et d'eau de ruissellement (calcul basé sur la conductivité) (C) Concentrations en MES et fraction des MES provenant des eaux usées. (D) Concentrations en E. coli attachés aux MES et libres

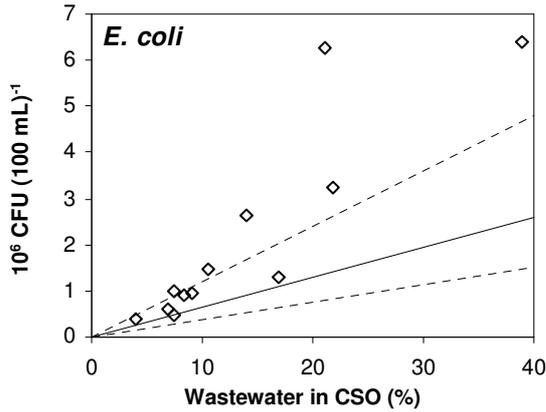


Figure 2 : Comparaison des concentrations en *E. coli* dans le déversement (symboles blancs) avec les concentrations attendues si tous les *E. coli* provenaient des eaux usées (trait plein calcul en considérant la moyenne des teneurs en *E. coli* des eaux usées brutes et traits pointillés en considérant le premier décile et le neuvième déciles ; valeurs de Gonçalves et al., 2009).

2.1.2 Suivi du panache en Seine

Quatre séries de prélèvements ont été effectués dans la Seine (A, B, C et D) durant lesquelles des échantillons ont été collectés en surface et en profondeur. La série A a été collectée à l’amont du déversement. En ce qui concerne les séries de prélèvements B, C et D, effectuées dans le panache du RUTP, des échantillons de surface et de profondeur ont été collectés à différents niveaux du panache (Figure 3).

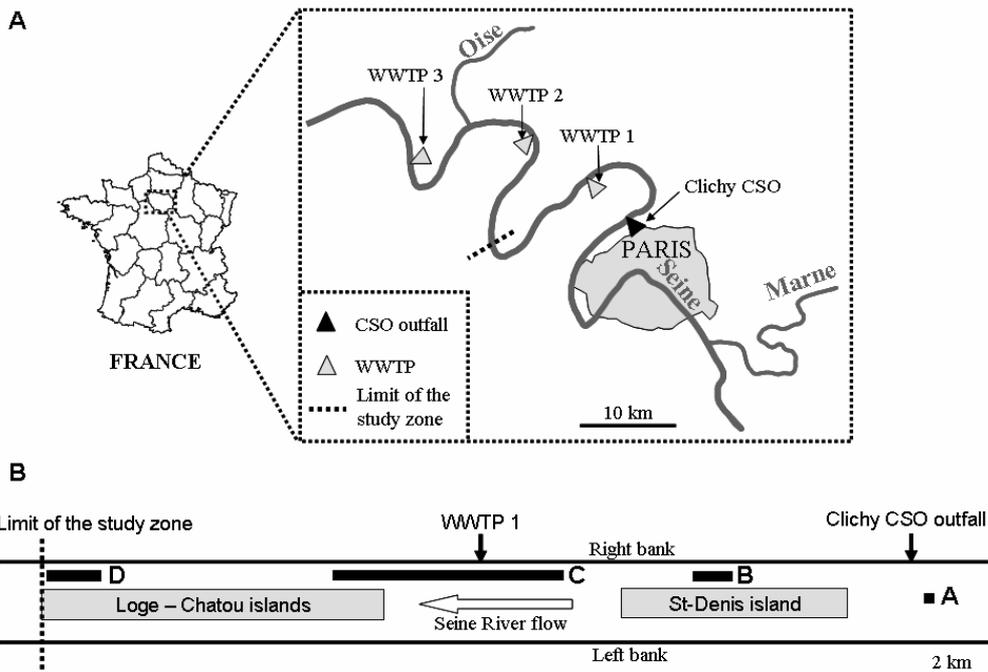


Figure 3 : (A) Carte de la zone étudiée en Seine et (B) localisation schématique des séries d’échantillons collectés en Seine.

La figure 4 présente les concentrations moyennes mesurées pour les *E. coli* et les entérocoques intestinaux dans les différentes séries d'échantillons collectés en Seine. En amont du déversement, les valeurs observées sont significativement plus élevées (10x) que celles observées habituellement par temps sec. Le niveau de contamination fécale de la Seine en amont du déversement de Clichy était donc déjà élevé. Ceci peut s'expliquer à la fois en raison du rejet en Seine d'autres RUTP situés en amont de Clichy mais également par une possible resuspension de sédiments due à la très brutale augmentation du débit en amont de Clichy.

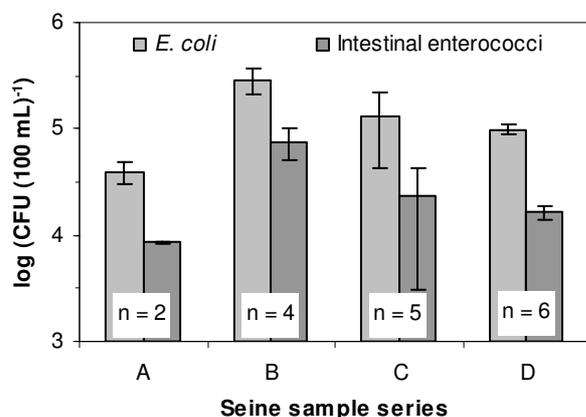


Figure 4 : Concentrations des *E. coli* et des entérocoques intestinaux en Seine le jour du déversement. Concentrations mesurées en amont du déversement de Clichy (séries A) et dans la masse d'eau impactée par le déversement (séries B, C et D).

Les mesures effectuées lors des trois séries d'échantillonnage du panache du RUTP dans la Seine révèlent que le RUTP entraîne une augmentation de la contamination en BIF de l'ordre d'un facteur 10 entre A et B (Figure 4). Les concentrations en BIF tendent par la suite à diminuer.

La figure 5 présente les valeurs de concentrations en *E. coli* calculées portées en fonction des valeurs mesurées en Seine dans la masse d'eau impactée par le déversement aux différentes stations échantillonnées. Dans un premier temps, le calcul a été effectué en ne prenant en compte que la dilution des BIF du rejet dans l'eau de la Seine. Les valeurs calculées sont systématiquement supérieures aux valeurs mesurées indiquant que d'autres processus interviennent dans la diminution des teneurs en *E. coli* en Seine. Nous avons donc calculé ensuite les valeurs de concentrations qui résulteraient d'une dilution et d'une mortalité du premier ordre (comme nous le considérerons dans le modèle, voir section 4 de ce rapport). Les valeurs calculées se rapprochent des valeurs mesurées mais certaines sont encore trop élevées. Enfin, nous avons calculé les valeurs de concentrations qui résulteraient d'une dilution, d'une mortalité du premier ordre et d'une sédimentation des *E. coli* attachés aux MES (comme nous le considérerons dans le modèle, voir section 4 de ce rapport) ; on voit sur la figure 5 que les teneurs en *E. coli* attachés aux MES calculées et mesurées coïncident. Ceci démontre que la manière dont la dilution, la mortalité et la sédimentation ont été considérées dans le calcul permettent de rendre compte de la diminution des BIF en aval du déversement ; ce qui signifie aussi que la description des processus de mortalité et de sédimentation qui sera utilisée dans le modèle (voir sections 3 et 4 de ce rapport) est correcte.

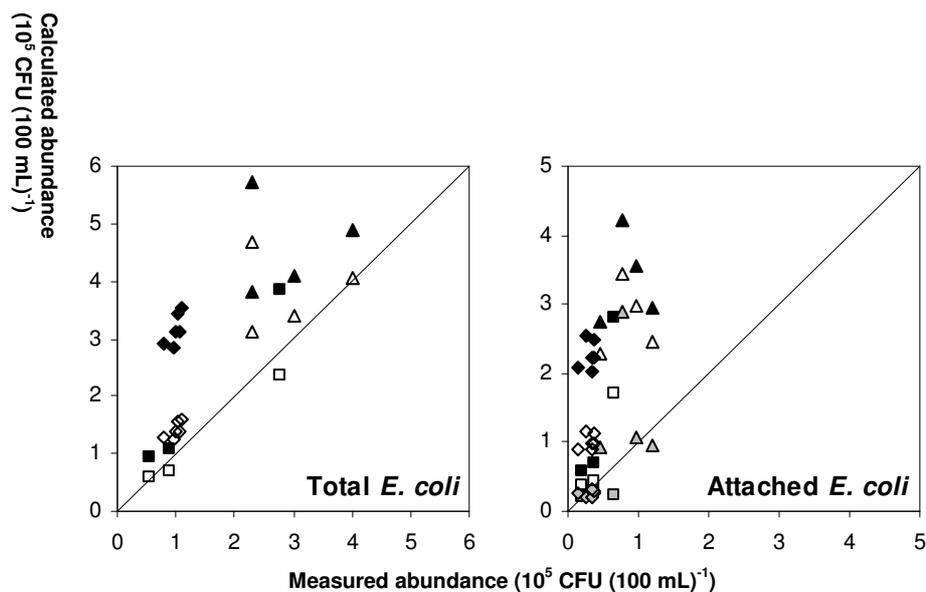


Figure 5. Valeurs de concentrations en *E. coli* (totaux et attachés) calculées versus valeurs mesurées dans la masse d'eau impactée par le déversement. Pour chaque échantillon, la valeur de concentration a été calculée en prenant seulement en compte la dilution (sur base de la conductivité du rejet et de la conductivité en Seine en amont) (symboles noirs), en prenant en compte la sédimentation et une mortalité du premier ordre (symboles blancs) et en prenant en compte la dilution, la mortalité et la sédimentation (symboles gris). Séries B (triangles), C (carrés) and D (losanges).

2.2 Mesures réalisées durant l'été 2010

2.2.1 Mesures réalisées à la STEP de Seine-Centre

Durant l'été et le début de l'automne 2010, des mesures de concentrations en BIF (*E. coli*, entérocoques) ont été effectuées sur les eaux arrivant à la station d'épuration Seine-Centre par temps sec et temps de pluie (eaux similaires à celles qui se déversent en Seine par temps de pluie à Clichy, site majeur de déversement en région parisienne). Des mesures de caractéristiques physico-chimiques (turbidité, MES, conductivité, NH₄) ont été réalisées en parallèle grâce à la collaboration du SIAAP.

Par temps sec, les résultats montrent une grande variabilité des teneurs en BIF qui dépendent du moment de la journée et du jour de la semaine (Figure 6). Les teneurs en *E. coli* sont mal corrélées à NH₄ et aux MES.

Les teneurs en *E. coli* des eaux brutes à l'entrée de la STEP Seine-Centre sont en général plus faibles par temps de pluie que par temps sec (valeurs médianes de $6,9 \times 10^6/100\text{ml}$ par temps de pluie et de $1,0 \times 10^7/100\text{ml}$ par temps sec). Comme en temps sec, les teneurs en BIF par temps de pluie sont également très variables (Figure 7). En général, on observe des concentrations élevées en *E. coli* en début de pluie ; les concentrations décroissent par la suite et remontent en fin d'événement pluvieux. Ce type d'évolution de la teneur en bactéries fécales durant un événement pluvieux correspond à ce qui avait été observé à Clichy en août 2008 (Figure 1D).

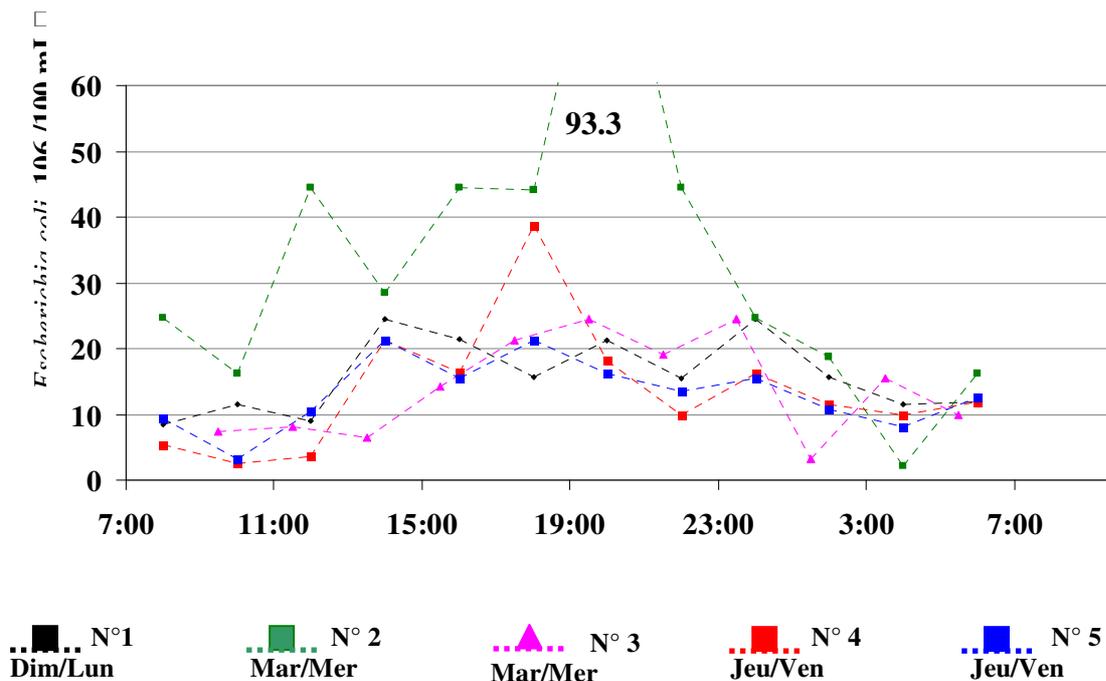


Figure 6 : Concentrations des *E. coli* dans les eaux brutes arrivant à la STEP Seine-Centre par temps sec. (5 cycles de 24 h avec prélèvements moyennés par 2h et analysés).

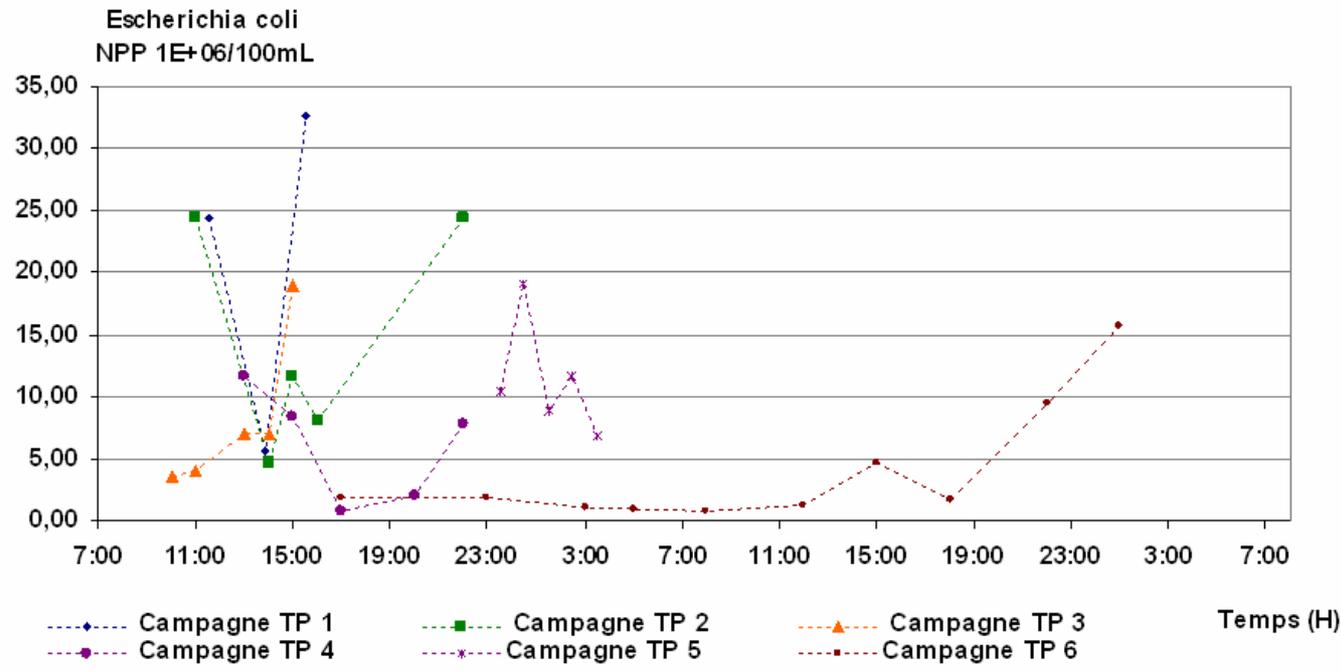


Figure 7 : Concentrations des *E. coli* dans les eaux brutes arrivant à la STEP Seine-Centre par temps de pluie. (6 événements pluvieux entre juin et août 2010).

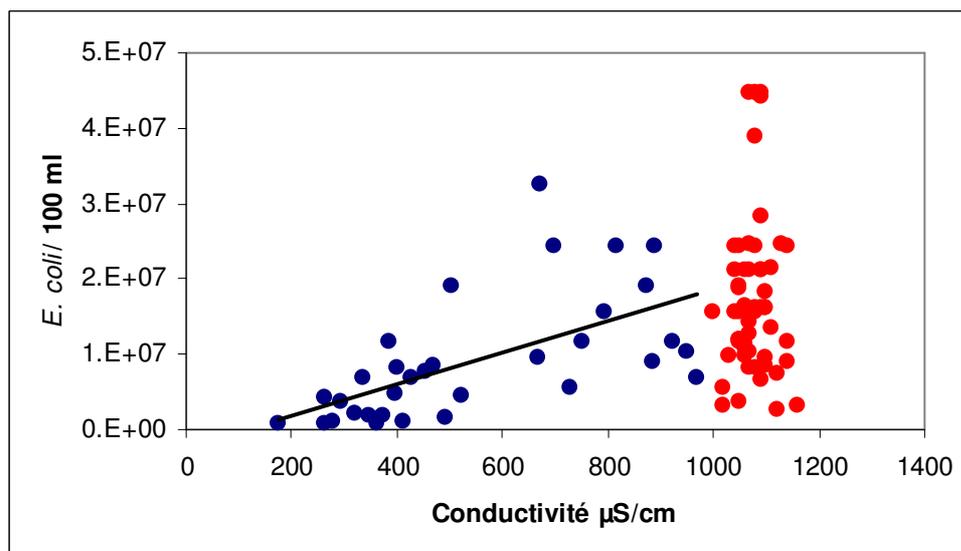


Figure 8 : : Concentrations des *E. coli* dans les eaux brutes arrivant à la STEP Seine-Centre en fonction de la conductivité par temps sec (points rouges) et par temps de pluie (points bleus) (mesures effectuées lors de 6 événements de temps de pluie entre juin et août 2010 ; 3 à 7 échantillons collectés par événement pluvieux) Concentrations des *E. coli* dans les eaux brutes arrivant à la STEP Seine-Centre par temps de pluie en fonction de la conductivité : Corrélation calculée par les points de pluie: $y = 20910 x + 2 \cdot 10^6$; $r = 0,6$; $n = 33$)

Les teneurs en *E. coli* par temps de pluie sont significativement corrélées à la conductivité et à la concentration en NH_4 qui sont de bons indicateurs de la fraction d'eau usée et d'eau de ruissellement qui compose un RUTP. La figure 8 qui présente la corrélation entre les concentrations en *E. coli* à l'entrée de la STEP Seine-Centre (eaux similaires à celles déversées en Seine à Clichy) montre que la dilution de l'eau usée par l'eau de ruissellement ne suffit pas à expliquer toutes les variations de teneurs en BIF dans les eaux de déversement. Ceci s'explique si l'on observe la très large gamme de teneurs en *E. coli* des eaux de temps sec. En fait, la teneur en *E. coli* des eaux de temps de pluie dépend à la fois de la fraction d'eaux usées qui constitue l'échantillon et de la teneur en *E. coli* de l'eau usée avec laquelle se mélange les eaux de ruissellement. Il est vraisemblable que certaines concentrations très élevées en *E. coli* par temps de pluie résultent également d'une remise en suspension, en réseau, comme nous l'avons mis en évidence pour l'événement pluvieux majeur d'août 2008.

2.2.2 Mesures réalisées en Seine en aval des principaux déversements de l'agglomération parisienne.

Durant l'été 2010, des mesures de teneurs en BIF ont été effectuées en Seine à Bougival qui se situe à l'aval des sites de déversement de Clichy et La Briche (Figure 9) dans des situations de déversement de RUTP. Lors de 6 événements pluvieux de l'été 2010, lorsque des RUTP étaient déversés à Clichy et à La Briche, le passage de la masse d'eau impactée par le déversement était observé au site de Colombes par une diminution de la teneur en oxygène de l'eau (sonde du SIAAP de mesure en continu de l'oxygène dissous). L'échantillonneur situé à Bougival était ensuite mis en route et le passage de la masse d'eau impactée par le déversement était enregistré à Bougival par le creux d'oxygène dissous. Les échantillons à analyser pour la qualité microbiologique étaient sélectionnés pour couvrir au mieux le passage de la masse impactée à Bougival. Des mesures ont également été réalisées par temps sec afin de connaître l'état de contamination microbiologique de référence du site de Bougival.

Par temps sec, les concentrations en *E. coli* à Bougival ont fluctué entre 200 et 4000 *E. coli*/ 100 ml (Figure 10) indiquant une relativement bonne qualité microbiologique des eaux en cette station.

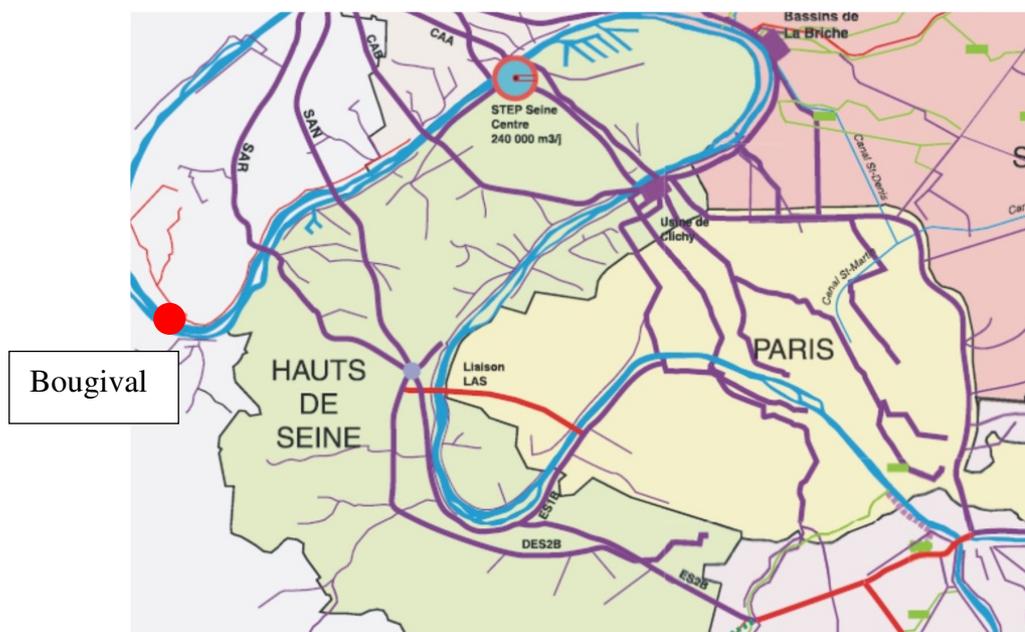


Figure 9 : Localisation de la station de Bougival sur la Seine.

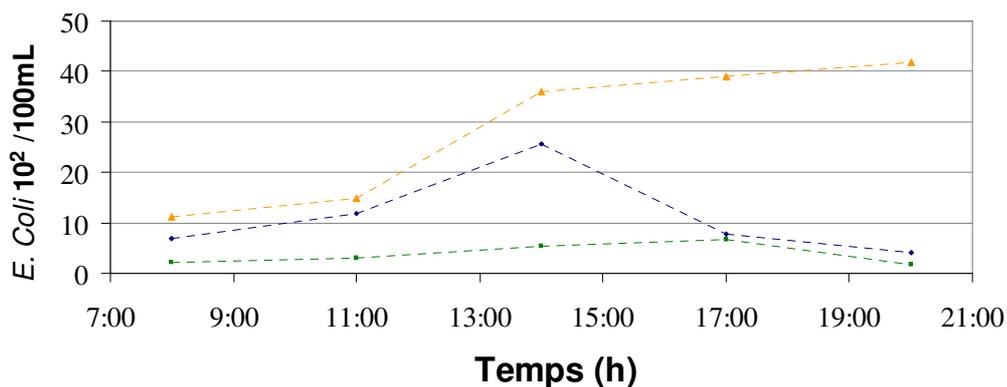


Figure 10: Suivi de la concentration en *E. coli* en Seine à Bougival au cours de trois journées de temps sec de l'été 2010.

Lors du passage de la masse d'eau impactée par le déversement, on observe un pic de teneurs en *E. coli* qui peut aller jusqu'à des concentrations de 170000 *E. coli*/ 100 ml (Figure 11), soit une concentration plus de quarante fois supérieure à la concentration maximale mesurée par temps sec. Ces observations montrent de manière très claire la dégradation de la qualité microbiologique en Seine à l'issue des déversements de RUTP.

L'ensemble des mesures réalisées en Seine durant l'été 2010 ont permis de quantifier la dégradation de la qualité microbiologique suite aux déversements de RUTP. Ces mesures seront utilisées pour valider le modèle développé par comparaison entre simulations et données de terrain (voir section 4 de ce rapport).

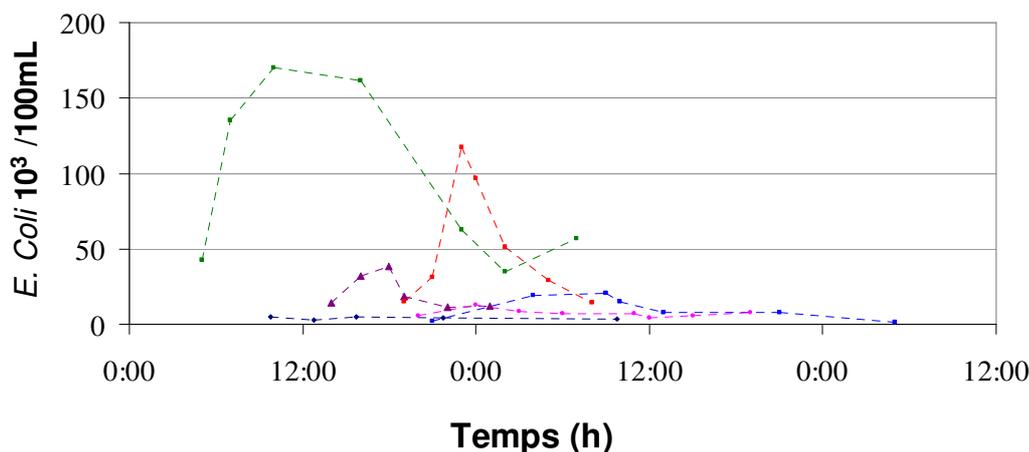


Figure 11: Suivi de la concentration en *E. coli* en Seine à Bougival au cours du passage de masses d'eau impactées par des déversements de temps de pluie (6 campagnes de mesures durant l'été 2010).

3 Module décrivant la dynamique des BIF

Un premier module décrivant la dynamique des indicateurs de contamination fécales avait été développé durant les phases précédentes du programme PIREN-Seine et couplé au modèle SENEQUE (Servais et al., 2007a, b). Ce module considérait un seul compartiment de BIF qui était affecté dans la rivière par une mortalité décrite par une cinétique du premier ordre (la constante de mortalité dépendant de la température) et d'une sédimentation. La constante de premier ordre de sédimentation était le ratio de la constante de sédimentation (m/h) et de la profondeur de la rivière(m).

Comme il a été montré que seules les bactéries fécales attachées aux MES sont susceptibles de sédimenter, des modifications ont été apportées au module décrivant la dynamique des BIF. Deux compartiments de BIF sont maintenant pris en considération dans la colonne d'eau : les BIF non sédimentables (libres) et les BIF attachées aux particules qui sont susceptibles de sédimenter. Outre leur comportement différent vis à vis de la sédimentation, ces deux compartiments sont affectés d'un taux de mortalité différent (plus faible pour les BIF attachées aux MES) et variable en fonction de la température. La mortalité des BIF dans le sédiment est également prise en compte dans le modèle ainsi que la possible remise en suspension des BIF du sédiment (Figure 12). Les sources de BIF prises en compte sont les rejets par les effluents des stations d'épuration et par les déversements de temps de pluie ; comme ce module vise à étudier la contamination en Seine dans la région parisienne et en aval, les apports par ruissellement en zone rurale sont négligés. Ce nouveau module a été couplé au modèle ProSe.

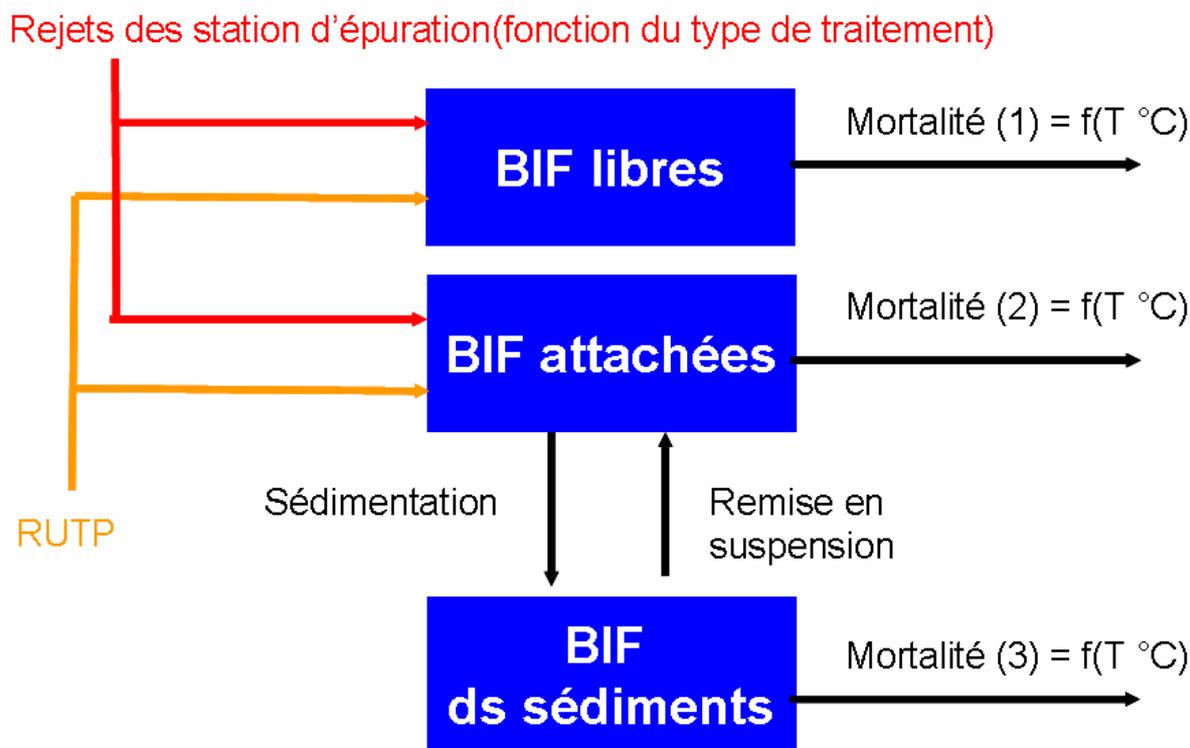


Figure 12 : Schéma du module décrivant la dynamique des bactéries fécales qui a été couplé avec le modèle ProSe.

4 Simulations réalisées avec le modèle ProSe

4.1 Données utilisées pour la réalisation des simulations

Les débits traités par les 5 usines du SIAAP ainsi que les déversements de temps de pluie mesurés par le SIAAP et les départements de la Seine Saint Denis, du Val de Marne et des Hauts de Seine (118 sites de déversements) sont utilisés comme données d'entrée du modèle au pas de temps journalier. Les concentrations en *E. coli* dans ces rejets résultent des campagnes de mesures récentes et de la campagne de 2010.

Pour les stations d'épuration les concentrations adoptées pour les simulations sont listées dans le tableau 1. Ces valeurs résultent des mesures effectuées par le SIAAP. Les concentrations d'*E. coli* libres et attachés sont supposés égaux à la moitié du total.

Stations d'épuration	<i>E. coli</i> / 100 ml
Marne Aval	$2.4 \cdot 10^4$
Seine Amont	$1.6 \cdot 10^4$
Seine Centre	$1.7 \cdot 10^4$
Seine Aval	$2.4 \cdot 10^4$
Seine Grésillons	$3.4 \cdot 10^3$

Tableau 1 : Concentrations en *E. coli* dans les effluents des stations d'épuration de l'agglomération parisienne (Données SIAAP)

Pour les déversoirs d'orage (DO), les concentrations ont été supposées constantes et égale à 5×10^6 *E. coli* / 100 ml, cette valeur étant calculée comme la moyenne géométrique des valeurs mesurées à Clichy et La Briche. Les concentrations d'*E. coli* libres et attachés sont supposées respectivement égales à 25 % et 75 % du total. Cette hypothèse résulte de l'étude effectuée sur le rejet de Clichy en août 2008. Les volumes des déversements fournis pas le SIAAP et par les services d'assainissements des départements de la Seine Saint Denis, du Val de Marne et des Hauts de Seine sont supposés répartis sur l'ensemble de la journée (24 heures). Nous ne disposons pas pour cette simulation préliminaire des heures de début et de fin de déversement pour chacun des 118 DO.

4.2 Comparaison des simulations et des mesures de terrain (juillet 2010-septembre 2010)

La période juillet à septembre 2010, englobant la période de prélèvements et d'analyses en entrée de Seine Centre et à Bougival, a été retenue pour effectuer les simulations tests avec ProSe. Les résultats de simulations sont comparés aux données des sites de surveillance hebdomadaire du SIAAP (Figure 13) et aux prélèvements à pas de temps fin réalisés pendant l'été 2010 sur le site de Bougival (Figures 14 à 23).

Les conditions limites à l'amont du domaine modélisé ont été fournies par le SEDIF. Les niveaux observés sur la Marne à Noisy (Figure 14) et sur la Seine à Choisy (Figure 16) semblent peu affectés par les déversements de temps de pluie des secteurs amont de l'agglomération parisienne, vraisemblablement modestes au regard des déversements principaux de la partie centrale de l'agglomération parisienne.

Lorsque les prélèvements sont réalisés dans les panaches des DO à leur passage au droit des sites de surveillance du SIAAP, les concentrations mesurées en *E. coli* sont nettement supérieures, de plusieurs ordres de grandeur, aux concentrations de temps sec (Figures 15, 16, 18, 19, 20). A Bougival, les panaches relatifs aux évènements pluvieux de la mi-août et du 9 Septembre (Figure 20) ont été suivis depuis l'arrivée jusqu'à la disparition des panaches (croissance puis décroissance des concentrations). Le temps de passage des panaches observé est nettement plus court que le temps de passage calculé. De plus, les panaches calculés semblent en retard sur les panaches observés. Cet écart entre calcul et mesure résulte du fait que nous avons adopté un pas de temps journalier pour les données fournies au modèle. Les mesures de débit disponibles à Austerlitz au pas de temps de 10 minutes montrent que, pendant quelques heures, le débit de la Seine peut être doublé (voire triplé en juillet) ce qui n'apparaît que de manière très atténuée avec des débits moyens journaliers. Il en résulte un temps de transfert réel du panache entre les principaux points de déversement et Bougival plus court que le temps de transfert calculé. Les remises en suspension calculées seront également plus importantes si les fortes variations du débit de la Seine au cours des épisodes de pluie d'orage sont prises en compte. Pour améliorer la validité des concentrations calculées, il apparaît nécessaire de simuler le fonctionnement hydraulique de la Seine à pas de temps fin pour ce qui concerne l'entrée des données (le pas de temps de calcul est de l'ordre de 10 mn pour les simulations présentées ici). Un pas de temps horaire pour les entrées de données de débit amont et pour les apports de temps de pluie constituerait probablement un compromis acceptable. Pour les principaux déversements (DO), nous devons prendre en compte les horaires de début et de fin de déversement et les informations disponibles sur les variations temporelles des concentrations au cours du déversement.

De plus la simulation des tronçons aval jusqu'à l'entrée de l'estuaire, à Poses, serait souhaitable afin de valider les taux de mortalité à plus long terme. Pour ce faire il sera nécessaire de rassembler les informations de déversements de temps sec et de temps de pluie des agglomérations situées entre la confluence Seine-Oise et Poses.

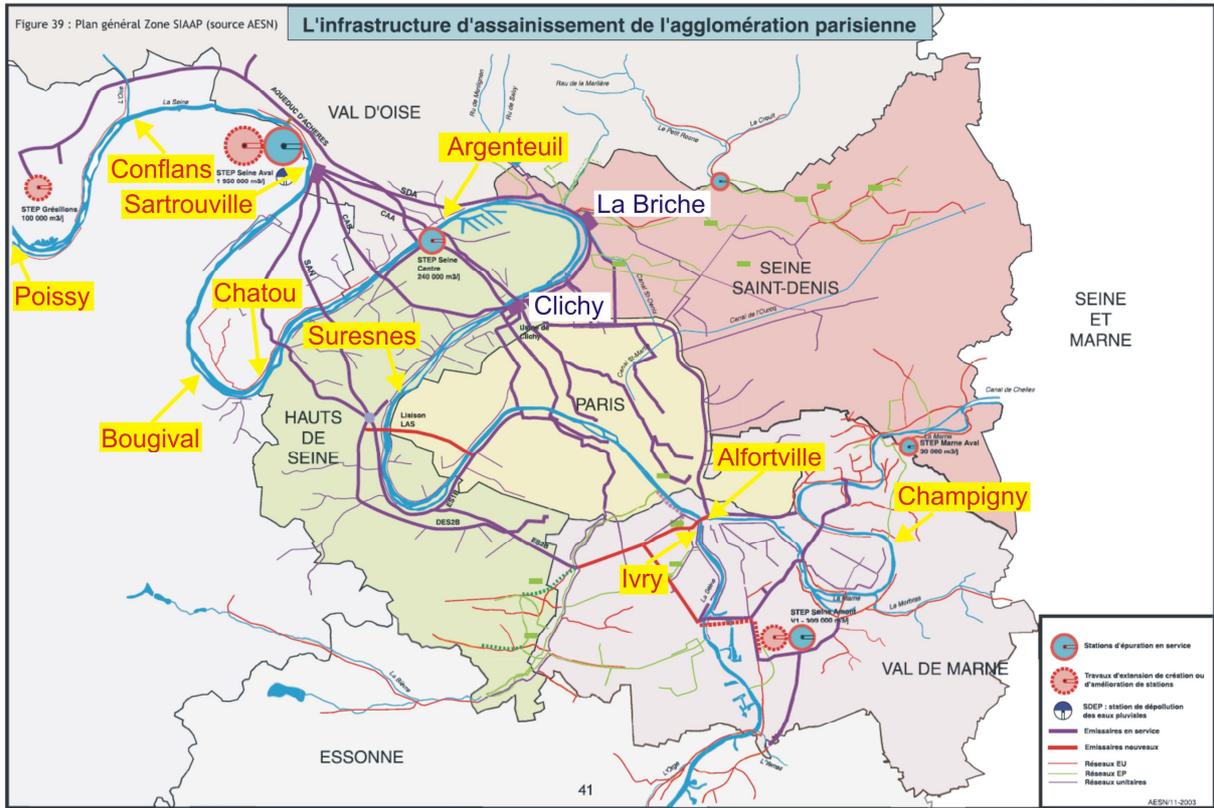


Figure 13 : Sites de surveillance du milieu naturel assurée par le SIAAP

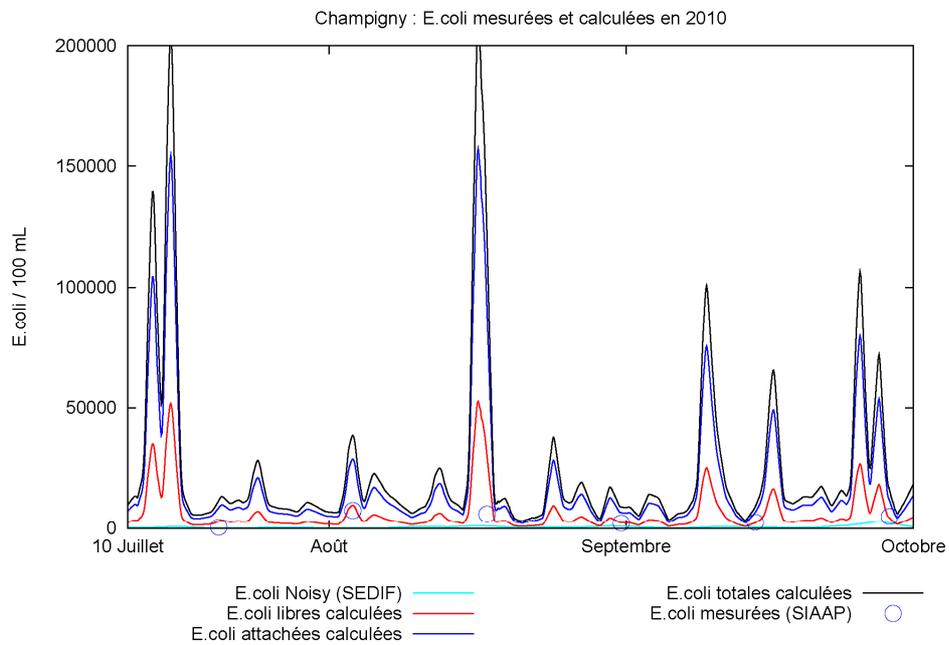


Figure 14 : Mesures et calculs à Champigny-sur-Marne

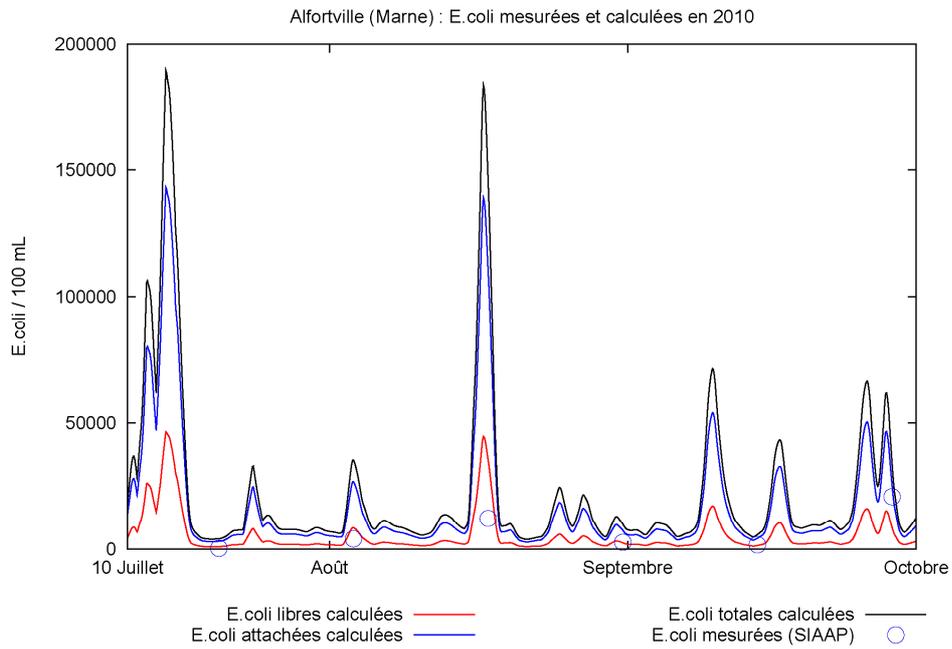


Figure 15 : Mesures et calculs à Alfortville (Passerelle sur la Marne)

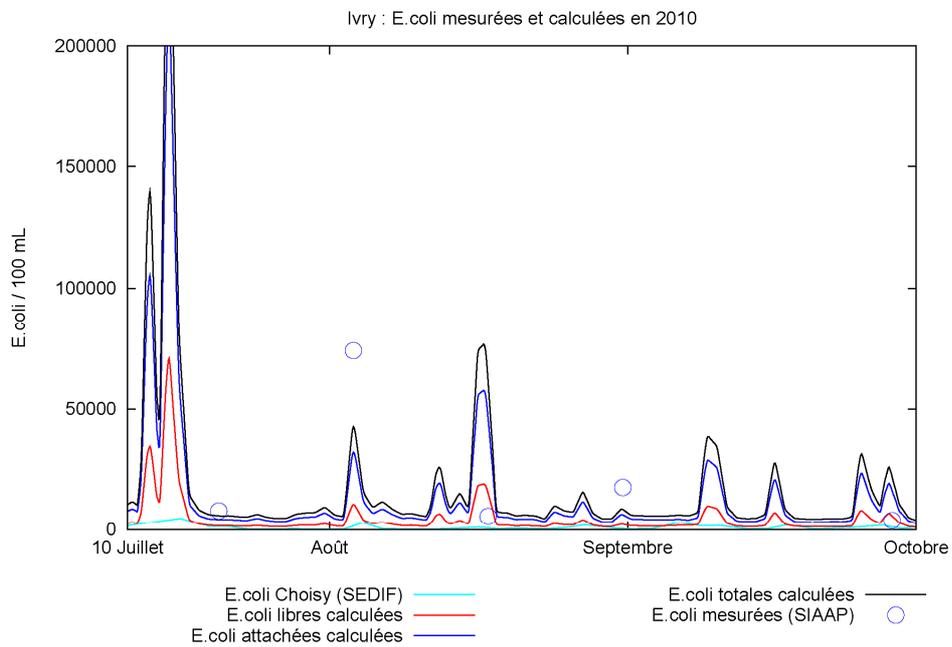


Figure 16 : Mesures et calculs à Ivry-sur-Seine

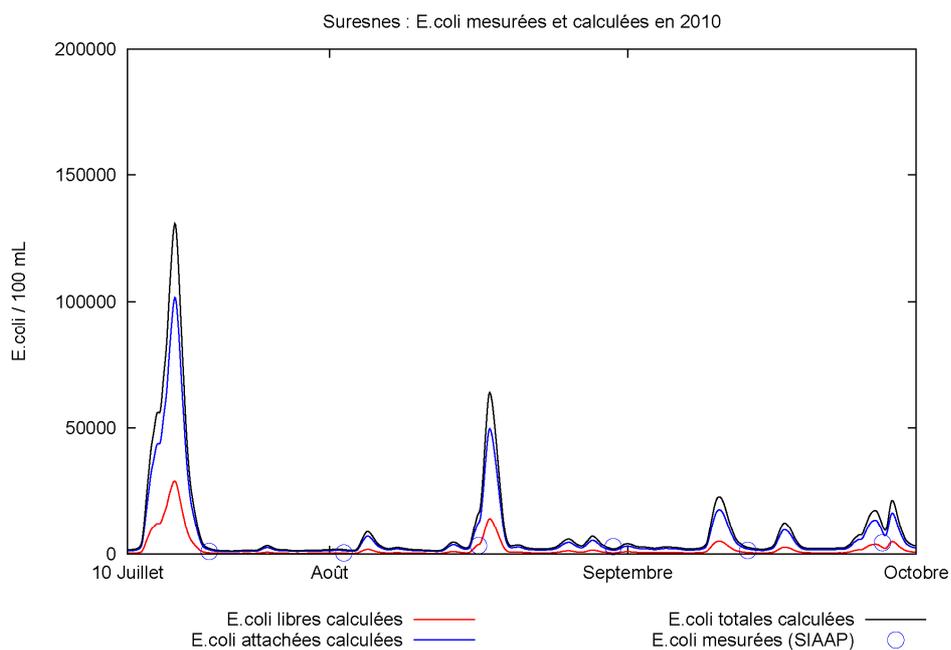


Figure 17 : Mesures et calculs à Suresnes

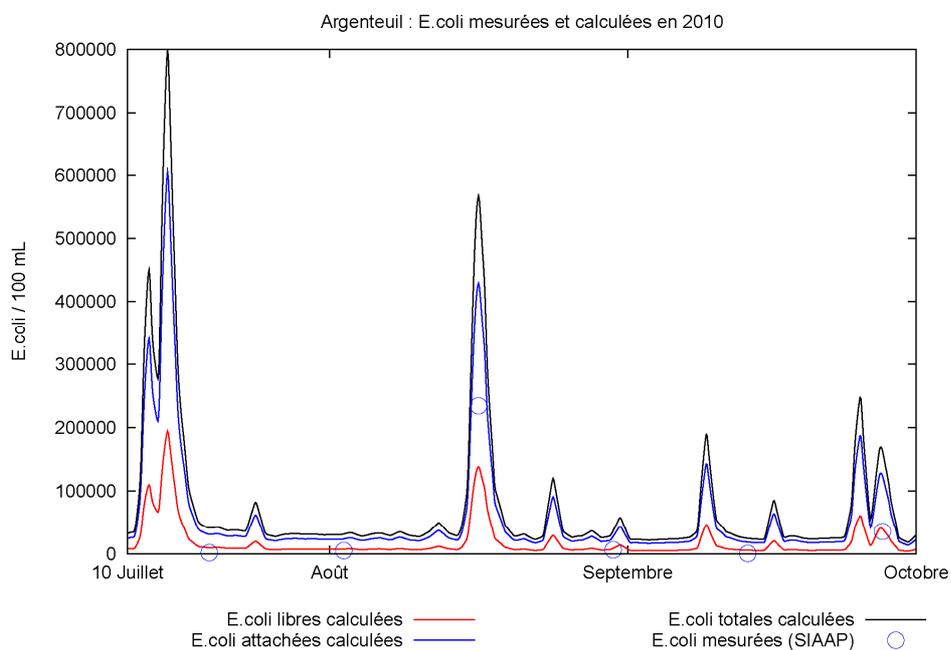


Figure 18 : Mesures et calculs à Argenteuil

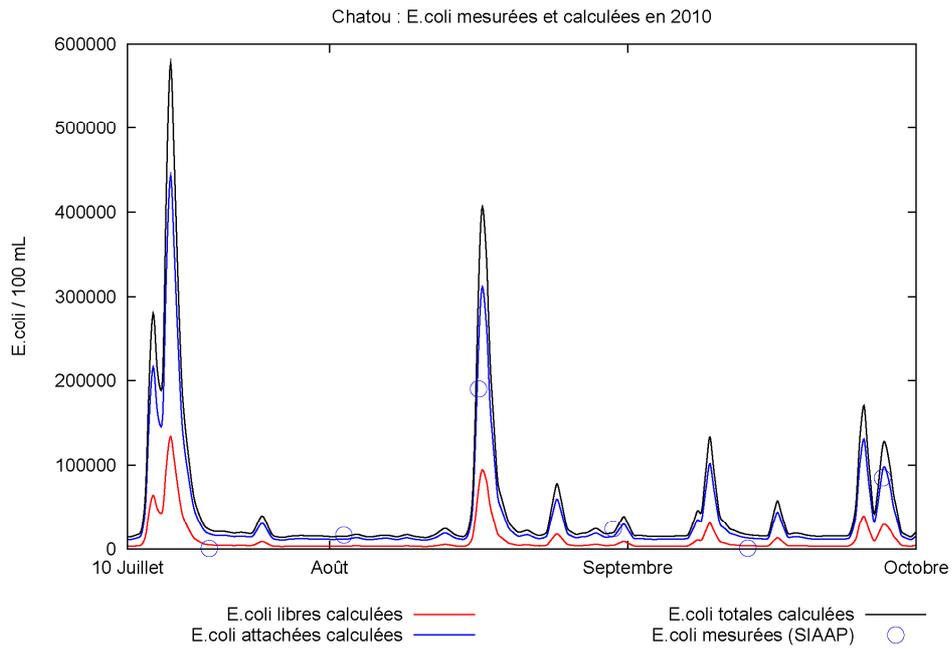


Figure 19 : Mesures et calculs à Chatou

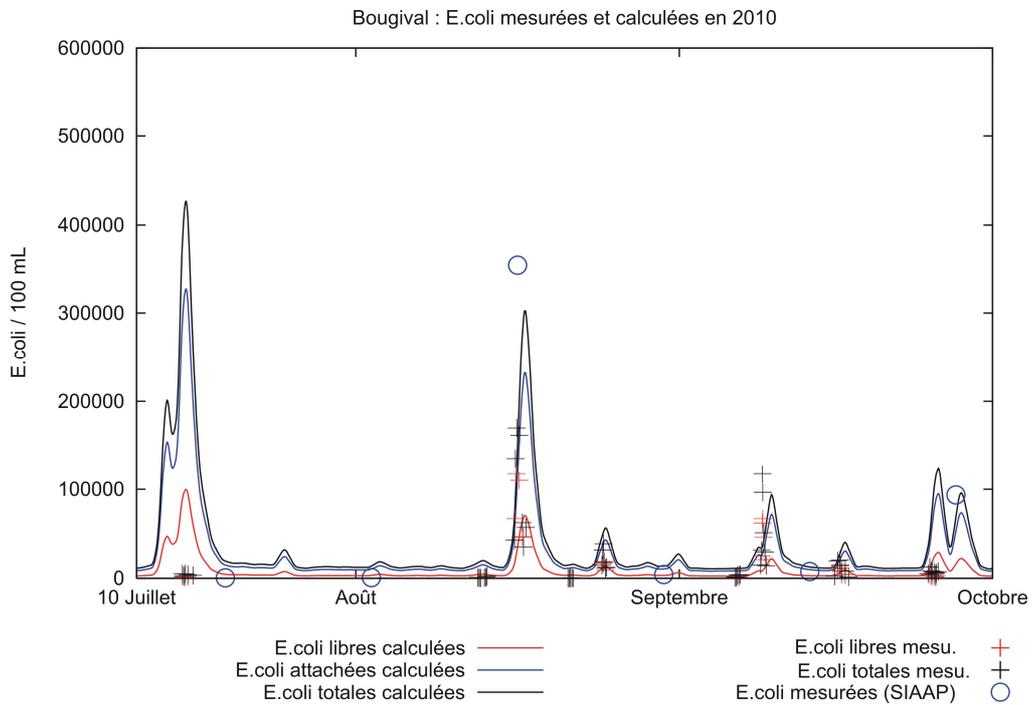


Figure 20 : Mesures et calculs à Bougival

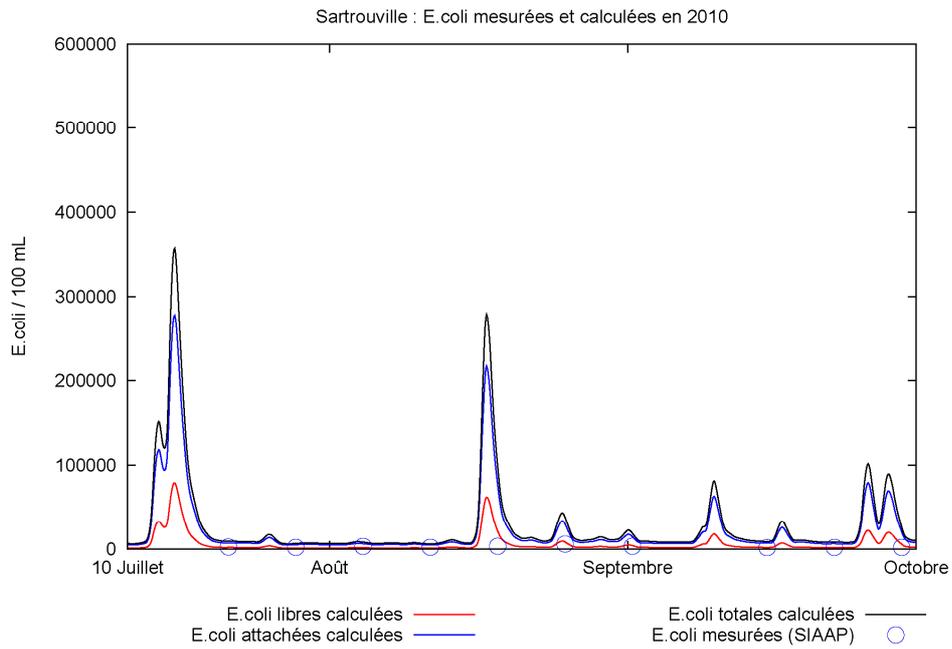


Figure 21 : Mesures et calculs à Sartrouville

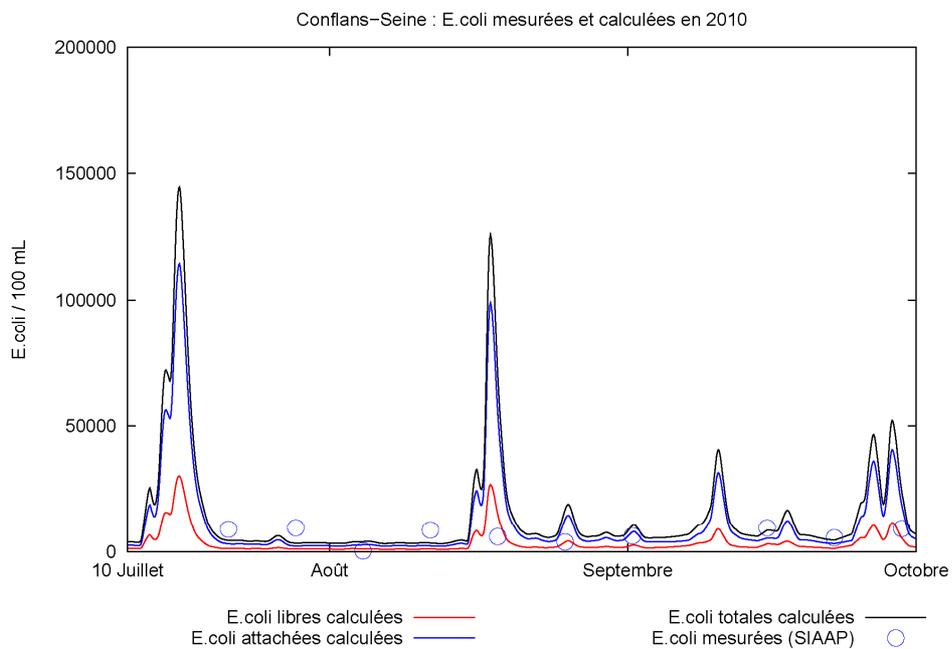


Figure 22 : mesures et calculs à Conflans-Sainte-Honorine (Seine, amont Oise)

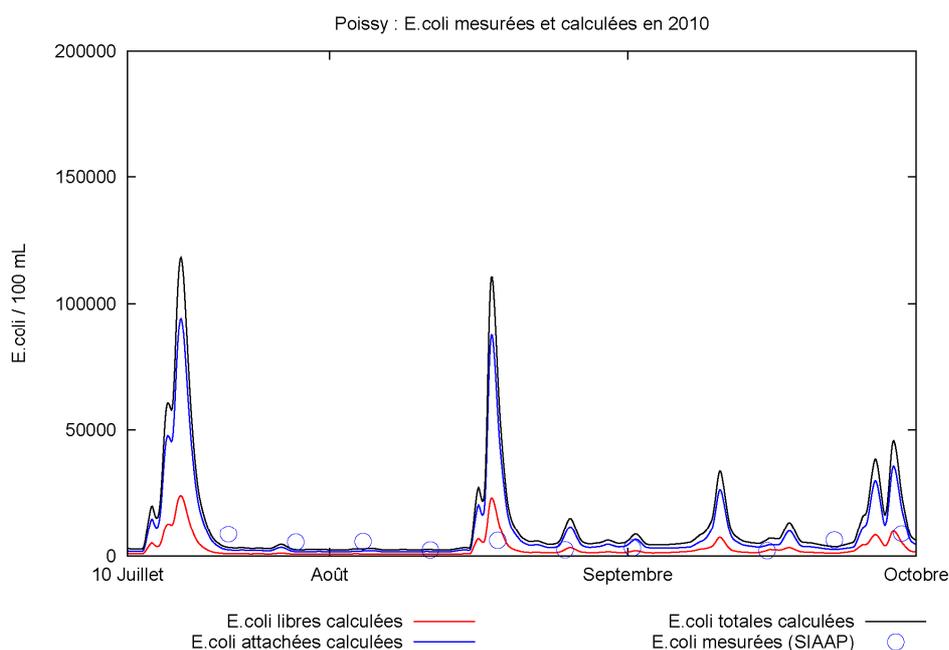


Figure 23 : Mesures et calculs à Poissy

5 Conclusions et perspectives

A ce stade, les principales conclusions de l'étude sont les suivantes :

- Les niveaux de traitement opérés dans les STEP de la région parisienne ont permis d'abaisser les niveaux de base de contamination de la Seine et de la Marne
- Les pics importants de contamination observés à l'étiage sont dus aux déversements de temps de pluie
- La teneur en BIF des CSO est très variable; elle est principalement contrôlée par la fraction d'eaux usées dans les CSO et la teneur en BIF des eaux usées
- Les simulations réalisées pour la période estivale 2010 rendent correctement compte des concentrations mesurées par temps sec et temps de pluie en Seine

Les recherches menées dans le cadre du PIREN-Seine en 2010 ouvrent les perspectives suivantes pour la suite :

- Des mesures complémentaires sont à ce stade encore nécessaires:
 - dans les CSO, pour préciser la répartition entre les phases libres et attachées des BIF
 - en Seine, pour étendre la base de données utile pour la validation du modèle
- La modélisation sera améliorée en prenant en compte les volumes déversés au pas horaire, en

considérant des teneurs en BIF variables dans les CSO

- Des simulations des fluctuations de la teneur en BIF en Seine seront réalisées pour des années complètes (2008 à 2011)
- Les simulations des teneurs en BIF seront mises en relation avec les simulations par ProSe des autres variables de la qualité de l'eau (NH₄, NO₂, PO₄, O₂...).

6 Références

Even S., G. Billen , N. Bacq, S. Théry, D. Ruelland, J. Garnier, P. Cugier, M. Poulin, S. Blanc, F. Lamy , C. Paffoni, 2007a, New Tools for managing water resources at the regional scale: implementation of the European Framework Directive on Water on the Seine River Basin, Science of the Total Environment 375.

Even, S., Mouchel, J.-M., Servais, P., Flipo, N., Poulin, M., Blanc, S., Chabanel, M., Paffoni, C., 2007b. Modeling the impacts of Combined Sewer Overflows on the rive Seine water quality. Science of the Total Environment 375, 140-151.

Garcia-Armisen, T. & Servais, P. 2009. Partionning and fate of particle-associated *E. coli* in river waters. Wat. Environm. Res. 81 (1): 21-28.

Gonçalves, A., Rocher, V., Pichon, S., 2009. Qualité bactériologique des eaux de la région parisienne : de l'eau d'égout au milieu récepteur. Techniques Sciences et Méthodes 3, 38-49.

Mouchel et al. Influence d'un déversement de temps de pluie sur les teneurs dissoutes et particulaires de micro-polluants et les bactéries indicatrices fécales en Seine. Rapport PIREN-Seine , janvier 2009.

Passerat, J. Ouattara, K., Mouchel, J.M., Rocher, V. and Servais , P. Impact of an intense combined sewer overflow event on the microbiological water quality of the Seine River. Water Research. 2011. 45 : 893-903.

Servais, P., Garcia-Armisen, T., George, I. & Billen, G. 2007a. Fecal bacteria in the rivers of the Seine drainage network: source, fate and modeling. Science of the Total Environment. 375: 152-167.

Servais, P., Billen, G. Goncalvez, A. and Garcia-Armisen, T. 2007b. Modelling microbiological water quality in the Seine river drainage network: past, present and future situations. Hydrology and Earth System Sciences. 11: 1581-1592.

Tabuchi J.P., Duchêne S., Kerduel L., Legruel S., Paffoni C., Voisine C., Poulin M., 2008, Modélisation du milieu naturel, mesures en continu et mesures ponctuelles : cas de l'agglomération parisienne, Technique et Sciences Municipales, N°2, pages 49-58.