

La modélisation comme outil d'évaluation de la contribution relative des apports anthropiques à la qualité de la Seine à l'aval de l'agglomération parisienne

Modelling as an evaluation tool for the relative contribution of the anthropic discharges to the Seine quality, downstream the Paris area

Bastien LABORIE⁽¹⁾, Lionel BENARD⁽¹⁾, Aïcha JAIRY⁽¹⁾, Jean-Pierre TABUCHI⁽¹⁾

(1) SIAAP- bastien.laborie@siaap.fr, lionel.benard@siaap.fr, aicha.jairy@siaap.fr, jean-pierre.tabuchi@siaap.fr

RÉSUMÉ

Le SIAAP évalue l'impact du système d'assainissement francilien sur la qualité du milieu récepteur : la Seine. Cette évaluation passe entre autres par le logiciel de modélisation ProSe (Programme Seine), développé par l'Ecole des Mines de Paris dans le cadre du Programme de recherche PIREN-Seine. Il permet de simuler l'impact des apports de polluants anthropiques (rejets des stations d'épuration, rejets urbains de temps de pluie...) sur la qualité des eaux en considérant les processus biogéochimiques s'opérant dans la rivière. Il est aujourd'hui utilisé à des fins opérationnelles afin d'orienter les choix d'exploitation ainsi que les programmes d'investissement du SIAAP. Récemment, dans la cadre de l'étude d'actualisation de son schéma directeur d'assainissement, un nouveau mode d'utilisation du logiciel a été développé par les équipes du SIAAP, visant à évaluer la contribution relative de chaque type d'apports à la concentration observée en un point de la Seine à l'aval de l'agglomération. Cette approche intégrée amont-aval, qui passe par la mise en place de modélisations dites «déconstruites», permet d'orienter de la manière la plus pertinente les aménagements structurants du système d'assainissement afin d'atteindre les objectifs de la Directive Cadre sur l'Eau.

ABSTRACT

SIAAP is assessing the impact of the waste water treatment system of the Paris area on the quality of the river Seine. This study is based on the use of the modelling software ProSe (Programme Seine), developed by Mines Paristech school as part of the PIREN Seine research program. ProSe can simulate the impact of the anthropic pollutants discharges (WWTP, stormwater overflows...) on water quality, taking into account several biogeochemical processes occurring in the river waters. The software is presently used for prospecting studies which include operation choices as well as SIAAP's investment program. Recently, as part of the study to update the drainage master plan (SDA), a new use of the modelling software has been developed by the teams of SIAAP in order to estimate the relative contribution of several types of discharges with regard to the pollutant concentration observed in a specific point of the river Seine downstream the Paris area. This integrated upstream/downstream approach, which includes the implementation of "deconstructed" simulations, enables the optimization of the master plan's structures, in order to reach the European Framework Directive's objectives.

MOTS CLÉS

Modélisation, ProSe, Schéma Directeur d'Assainissement, Seine, SIAAP

1 UTILISATION DU LOGICIEL PROSE AU SIAAP

1.1 Présentation du SIAAP

Le SIAAP, Syndicat interdépartemental d'assainissement de l'agglomération parisienne, a pour mission de transporter et d'épurer les eaux résiduaires urbaines de 8,9 millions d'habitants avant leur rejet dans la Seine, la Marne et une petite rivière : la Morée. Pour cela il dispose de 6 usines de dépollution des eaux, d'un réseau de transport maillé et de 900 000 m³ de capacité de stockage de temps de pluie. La gestion coordonnée de l'ensemble de ces ouvrages est assurée par un outil de gestion en temps réel des effluents, le modèle MAGES (Modèle d'Aide à la Gestion des Effluents du SIAAP).

Le SIAAP assure une surveillance générale du milieu récepteur grâce à un réseau de mesures hebdomadaires de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux, son réseau de mesure en continu de l'oxygène dissous en Seine (ODES) ainsi que des campagnes de suivi hydrobiologique et piscicole annuelles.

1.2 Présentation du logiciel ProSe

Le SIAAP évalue également l'impact de ses rejets avec le logiciel de modélisation ProSe (Programme Seine), qui a été développé par l'École des Mines de Paris dans le cadre du Programme de recherche PIREN-Seine (Programme Interdisciplinaire de Recherche sur l'Environnement de la Seine) (Even, 1995 ; Even *et al.*, 1998 ; Even *et al.*, 2004 ; Flipo *et al.*, 2004 ; Even *et al.*, 2007 ; Flipo *et al.*, 2007 ; Vilmin, 2014).

ProSe permet de simuler l'impact des apports de polluants anthropiques (rejets des stations d'épuration, rejets urbains de temps de pluie, rejets permanents) sur la qualité de la Seine et de la Marne lors de leur traversée de l'agglomération parisienne.

Doté d'un module biogéochimique, le logiciel permet de prendre en compte les cycles du carbone, de l'azote et du phosphore en lien avec la dégradation de la matière organique. Il intègre à la fois l'activité des bactéries hétérotrophes et nitrifiantes et celle du phytoplancton en lien avec les nutriments azotés, phosphorés et l'oxygène.

Les processus pris en compte dans la colonne d'eau sont, exceptée la croissance phytoplanctonique, identiques à ceux pris en compte dans les sédiments. Le logiciel modélise également l'évolution des stocks de vase et les échanges benthiques dissous et particulaires.

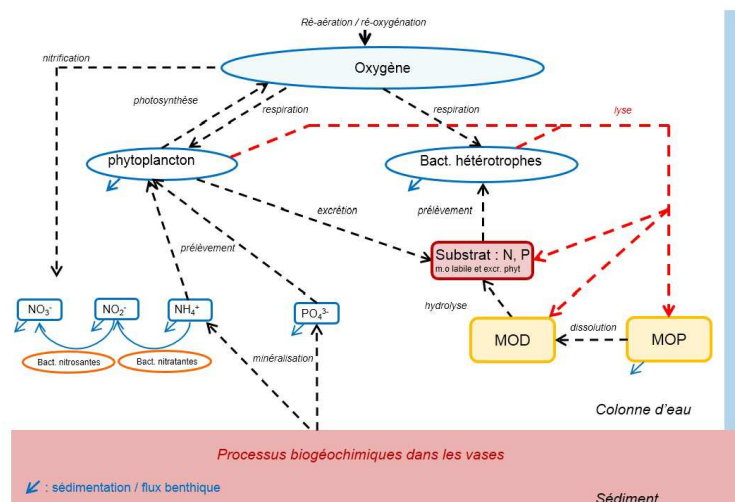


Figure 1 – Schéma conceptuel global du module biogéochimique de ProSe

1.3 Principaux usages au SIAAP

ProSe est aujourd'hui utilisé au SIAAP aux différentes étapes des projets, que ce soit pour le pré-dimensionnement des ouvrages de stockage ou de traitement des eaux, la réalisation des études d'impacts dans le cadre des dossiers réglementaires ou à des fins opérationnelles pour orienter les choix d'exploitation, notamment dans le cadre de la programmation annuelle des chômages d'ouvrages. Plus récemment, une réflexion a été engagée sur la possibilité d'utiliser le modèle ProSe comme outil d'aide à la décision en temps réel, afin de définir des consignes à destination des services en charge de l'exploitation du réseau d'assainissement et des stations d'épuration.

Pour ce faire, deux types de simulations sont classiquement réalisées : des simulations en régime permanent, dans des conditions du milieu fixes et pénalisantes conformément au SDAGE (prise en compte d'un débit égal au QMNA 5), et des simulations transitoires sur des événements pluvieux ponctuels ou bien des chroniques annuelles, qui permettent une appréciation des résultats par rapport aux objectifs de qualité de la Directive Cadre sur l'Eau, tels que transcrits dans les arrêtés du 25 janvier 2010 et du 7 août 2015.

2 UTILISATION DES SIMULATIONS « DECONSTRUITES » DANS LE CADRE DE L'ACTUALISATION DU SCHEMA DIRECTEUR D'ASSAINISSEMENT

2.1 L'étude d'actualisation du schéma directeur d'assainissement de la zone SIAAP

Le SIAAP a entrepris en 2011 avec ses partenaires l'actualisation de son schéma directeur d'assainissement (SDA), afin de vérifier la comptabilité des principes d'aménagement retenus lors de son adoption en 2007 avec les objectifs de qualité de la Directive Cadre sur l'Eau, tout en intégrant les évolutions attendues dans le cadre du Grand Paris, et d'envisager les autres équipements éventuellement nécessaires à l'atteinte de cet objectif.

Pour ce faire, le modèle hydraulique utilisé par le SIAAP a été étendu aux réseaux des quatre départements limitrophes, afin de prendre en compte l'ensemble des rejets de temps de pluie. Des simulations hydrauliques ont ensuite été réalisées sur 10 ans de chronique des pluies réelles (2001-2011) et les pollutogrammes ainsi générés ont été injectés dans ProSe pour évaluer l'impact sur le milieu récepteur.

Les résultats ont ensuite été exploités selon les règles définies dans les arrêtés du 25 janvier 2010 et du 7 août 2015, c'est à dire par calcul du centile 90 sur 2 (puis 3) années consécutives pour les différents paramètres modélisés : oxygène dissous (O_2), ammonium (NH_4^+), nitrates (NO_3^-), nitrites (NO_2^-) et orthophosphates (PO_4^{3-}).

2.2 Les modélisations déconstruites

2.2.1 Principe des simulations

Afin d'approfondir les résultats de modélisation et de cibler plus précisément les aménagements à réaliser, une nouvelle méthodologie d'utilisation de ProSe a été développée, qui vise à évaluer la contribution relative de chaque type d'apport à la concentration observée en Seine à l'aval de l'agglomération.

Cette méthodologie consiste en la réalisation de modélisations dites « déconstruites » : pour un scénario d'aménagement donné, on procède à plusieurs simulations où chaque type d'apport dont on souhaite connaître la contribution à la concentration obtenue en Seine est individuellement retiré du modèle. L'impact attribué à ce type d'apport est ensuite calculé par différence avec la simulation complète. Par ailleurs, afin de ne pas biaiser les temps de transit des masses polluantes ainsi que les calculs de dilution, les volumes apportés au milieu naturel par les rejets concernés sont conservés et seules les concentrations de polluants sont mises à zéro.

Dans cet exercice, les différents apports ont été regroupés comme suit : déversoirs d'orage à l'amont des barrages de Suresnes (DO amont), déversoirs d'orage à l'aval des barrages de Suresnes (DO aval), station d'épuration Seine aval (SAV) et autres stations d'épuration du SIAAP (STEP hors SAV).

Une modélisation a également été réalisée sans aucun rejet afin de déterminer la part du bruit de fond (apports amont).

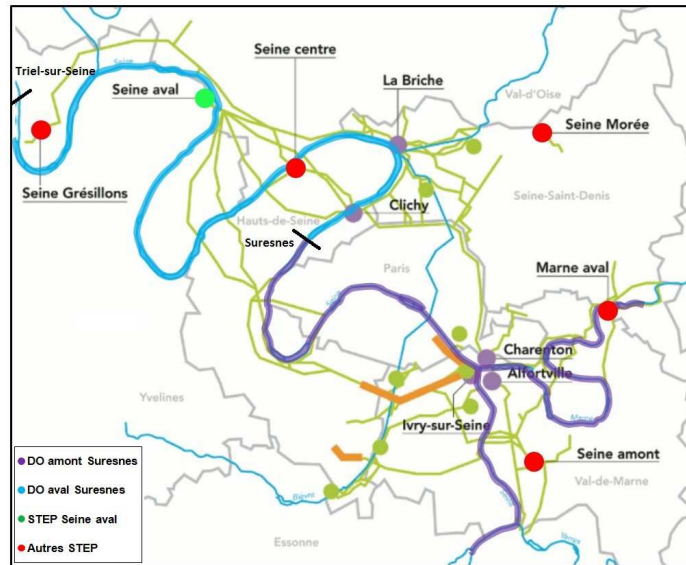


Figure 2 - Découpage des différents apports dans le cadre des « modélisations déconstruites »

2.2.2 Résultats et interprétation

La contribution de chacun des apports à la concentration modélisée au point de contrôle de Triel-sur-Seine, situé à l'aval du système d'assainissement, pour l'ammonium, paramètre critique vis-à-vis du bon état, est présentée à la figure 3 sur l'année 2010.

On constate des dépassements réguliers du seuil du bon état ($>0.5 \text{ mg NH}_4/\text{l}$), représenté en vert, qui sont dus à différents événements pluvieux d'intensité et de durée variables. Les déclassements observés peuvent ainsi durer de 1 à plus de 10 jours.

Les résultats montrent également que la méthode utilisée permet la plupart du temps de bien recomposer la qualité modélisée de la Seine avec tous les rejets. En effet, si la complexité des processus modélisés dans ProSe entraîne nécessairement des écarts avec la modélisation intégrant tous les rejets, ceux-ci restent globalement assez faibles ($<10\%$ sur les événements déclassants).

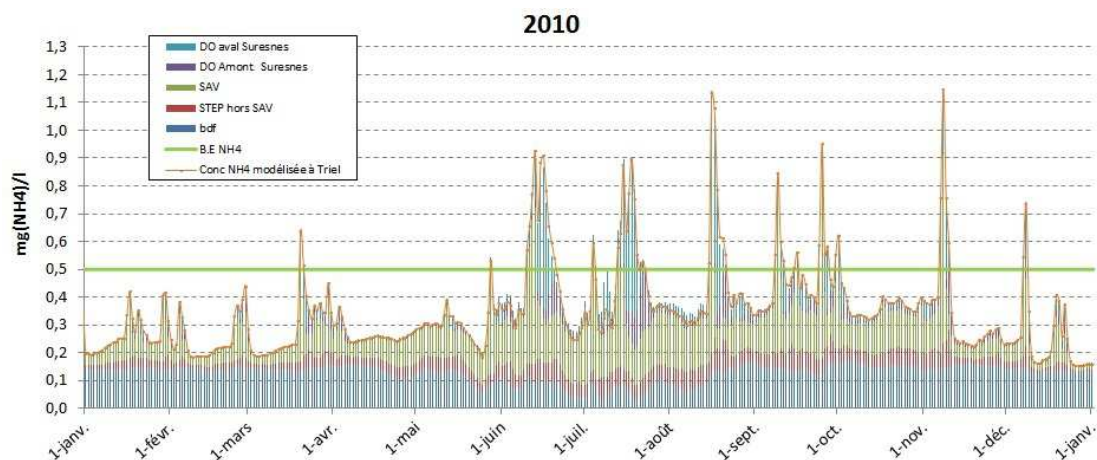


Figure 3 – Contribution relative des différents apports à la concentration en ammonium modélisée à Triel-sur-Seine sur l'année 2010

La figure 4, qui zoome sur un évènement déclassant de longue durée en juin 2010, permet de mieux appréhender la contribution successive de chacun des apports : les 4 premiers jours, le déclassement est principalement dû au rejet de l'usine Seine aval car c'est le premier flux de polluants arrivant sur la zone. A partir du 4^{ème} jour, les flux rejetés aux déversoirs d'orage en aval de Suresnes ont transité jusqu'au point de contrôle et leur contribution augmente jusqu'à devenir la cause principale du déclassement du jour 5 au jour 8, alors que la station Seine aval retrouve un niveau de rejet de temps sec. Le panache de pollution dû aux déversoirs amont de Suresnes est quant à lui surtout visible les trois derniers jours, où il contribue à prolonger la durée du déclassement. A l'inverse, on constate que la contribution des autres stations du SIAAP reste faible et relativement stable tout au long de l'évènement. Un évènement pluvieux peut ainsi générer 11 jours de déclassement en raison de la succession des « ondes de pollution » en un point d'observation.

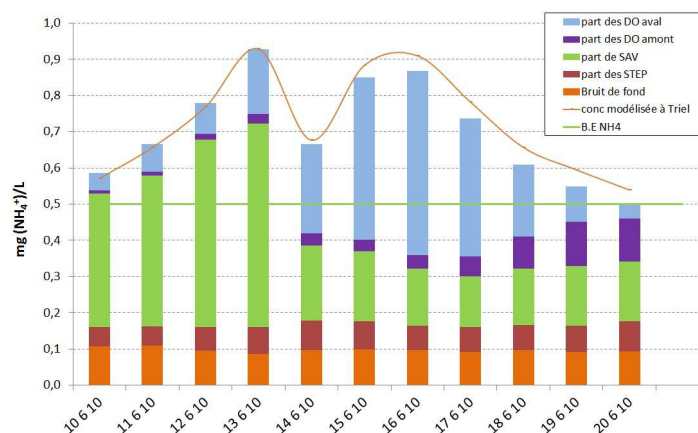


Figure 4 - Contribution relative des différents apports à la concentration en ammonium modélisée à Triel-sur-Seine pour l'évènement déclassant du 10 au 20 juin 2010

Ces modélisations déconstruites ont ainsi mis en évidence que les leviers les plus efficaces pour réduire la concentration en ammonium en Seine étaient l'interception des rejets des déversoirs d'orage sur la zone aval de Suresnes et particulièrement sur la boucle de Gennevilliers, qui concentre les plus gros DO, et un meilleur contrôle des flux rejetés par Seine aval lors des épisodes pluvieux.

En termes d'aménagement, les pistes à l'étude consistent en la réalisation d'un complexe de stockage entre Clichy, La Briche et Enghien et la création d'un bassin tampon en entrée de Seine aval, afin de lisser les flux à traiter et d'améliorer ainsi la qualité de rejet.

Par ailleurs, il apparaît que toutes les actions de nature à réduire les flux rejetés par temps de pluie, notamment à l'amont du système (réduction de l'imperméabilisation, amélioration de la sélectivité de la collecte) pourront contribuer à l'atteinte du bon état.

CONCLUSION

L'étude d'actualisation du schéma directeur d'assainissement de la zone SIAAP s'est appuyée sur la réalisation de simulations hydrauliques et qualité sur 10 ans de chronique des pluies réelles, afin de déterminer les aménagements à réaliser par le SIAAP et ses partenaires en vue d'atteindre les seuils de qualité de la Directive Cadre sur l'Eau.

Dans le cadre de ces travaux, une nouvelle méthodologie d'utilisation du logiciel de modélisation de la qualité des eaux ProSe a été mise en œuvre, qui consiste à réaliser des modélisations dites « déconstruites » pour évaluer la contribution relative de chaque type d'apports à la concentration observée en Seine à l'aval de l'agglomération.

Cette approche intégrée amont-aval a permis d'orienter les aménagements à réaliser sur les secteurs où les leviers d'amélioration apparaissent comme les plus forts.