

Fonctionnement dégradé de la station d'épuration Seine Aval (Yvelines) du 3 au 5 juillet 2019 suite à l'incendie de l'unité de clarifloculation

Analyse de l'impact environnemental de l'événement sur la Seine

Par Sabrina Guérin, Robin Richoux, Erwan Garcia-Gonzalez, Sam Azimi et Vincent Rocher,

SIAAP - Direction Innovation Environnement

Jean-Philippe Lemoine, Cédric Fisson, GIP-Seine Aval

Fabienne Petit, Normandie Université, UMR M2C/ Sorbonne Université, UMR METIS

Jean-Marie Mouchel, Sorbonne Université, UMR METIS

Abstract

DEGRADED FUNCTIONING OF THE SEINE AVAL WASTE WATER TREATMENT PLANT (YVELINES) FROM JULY 3 TO 5, 2019 FOLLOWING THE FIRE OF THE CLARIFLOCCULATION UNIT - ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF THE EVENT ON THE SEINE RIVER

On Wednesday, July 3, 2019, at around 4:45 p.m., a fire broke out on the clarification unit of the Seine Aval wastewater treatment plant of the SIAAP (Yvelines, France). The treatment performance was temporarily degraded for 3 days; involving a significant supply of organic matter and nutrients to the natural environment. These inputs led to a strong deoxygenation of the Seine River up to 30 km downstream of the wastewater treatment plant discharge point: an estimated fish mortality of 7.5 tonnes (fish, algae and waste) was observed in this Seine River area. The Seine River quality monitoring networks were immediately mobilized to monitor potential changes in the quality of the natural environment caused by the incident. The mobilization of teams from SIAAP, Sorbonne University (Piren-Seine), Normandie University and GIP-Seine Aval, made it possible to set up environmental monitoring, from Conflans-Sainte-Honorine to Tancarville (280 km of linear length of the Seine River). This article discusses the impact of the incident on the natural environment and its mitigation during the transit of water over the Seine Normandy watershed area located at Paris conurbation downstream.

Le mercredi 3 juillet 2019 vers 16h45, un incendie s'est déclaré sur l'unité de clarifloculation de la station d'épuration de Seine Aval du SIAAP (Yvelines). Les performances de traitement ont été temporairement dégradées pendant 3 jours; impliquant un apport important de flux de matière organique et de nutriments dans le milieu naturel. Ces apports ont conduit à une désoxygénation forte de la Seine jusqu'à 30 km à l'aval de la station, avec une mortalité piscicole estimée à 7,5 tonnes (poissons, algues et déchets) sur ce bief de la Seine. Les réseaux de suivi de la qualité de la Seine ont été immédiatement mobilisés pour suivre l'impact de l'incident sur la qualité du milieu naturel. La mobilisation des équipes du SIAAP, de Sorbonne Université (Piren-Seine), de Normandie Université et du GIP-Seine Aval, a permis de mettre en place un suivi environnemental, allant de Conflans-Sainte-Honorine à Tancarville, soit 280 km de linéaire de Seine suivis. Cet article discute de l'impact de l'incident sur le milieu naturel et de son atténuation lors du transit de l'eau sur le bassin versant Seine Normandie, à l'aval de l'agglomération parisienne.

Le Service Public de l'Assainissement Francilien (SIAAP) est en charge du transport et du traitement des eaux usées produites par près de 9 millions de franciliens pour leurs usages domestiques et industriels. Couvrant un territoire de 1.800 km², le SIAAP traite chaque jour près de 2,5 millions de m³ d'eaux usées par temps sec. Une fois dépolluée, l'eau est rejetée dans la Seine et la Marne. Le SIAAP exploite le premier outil industriel de France pour l'assainissement: 440 km de canalisations, plus de 900.000 m³ de capacité de stockage des eaux pluviales et 6 usines de dépollution permettant un traitement complet des eaux usées. Cet outil industriel

performant est le résultat de vagues de construction et de modernisation engagées depuis 1970 qui ont permis à l'assainissement francilien d'opérer une véritable mutation. En quelques décennies, la qualité du traitement s'est considérablement améliorée, en passant d'un traitement unique de la matière organique à un traitement complet de la pollution. Ces technologies intensives permettent aujourd'hui de redonner au milieu naturel une eau propre compatible avec l'atteinte des objectifs de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) et propice au développement de la biodiversité. Ainsi, et à titre d'illustration, 34 espèces de poissons sont recensées

Mots-clés: Seine, milieu naturel, oxygénation, recensement piscicole, bilan environnemental

dans la Seine aujourd'hui, contre 3 en 1971 (Rocher et Azimi, 2017). Des poissons migrateurs, comme le saumon ou la grande alose, sont de nouveau observés en Seine, alors qu'ils étaient considérés comme disparus au début des années 1990 (GIP-Seine-Aval 2016).

Les eaux usées sont acheminées vers 6 stations d'épuration (STEP) qui rejettent les eaux traitées en Seine et en Marne. Les capacités de traitement des STEP du SIAAP, réparties en amont et en aval de Paris, sont comprises entre 50.000 et 1.700.000 m³/j. La station Seine Aval, située dans les Yvelines, épure quotidiennement 1.700.000 m³ d'eaux usées. Sa filière de traitement des eaux, en cours de refonte, est composée d'une décantation simple et d'une décantation physico-chimique lestée par clarifloculation suivie d'une épuration biologique complète réalisée par bioréacteurs à membranes et unités de biofiltration. Cette filière de traitement permet une élimination efficace de la pollution carbonée (particules et matière organique biodégradable), de l'azote (ammonium et nitrate) et du phosphore (phosphore organique et ortho-phosphates).

Le mercredi 3 juillet 2019 vers 16h45, un incendie s'est déclaré sur l'unité de clarifloculation de la station d'épuration Seine Aval (SAV). Les performances de traitement ont été temporairement dégradées entre le mercredi 3 juillet et le samedi 6 juillet. Durant cette période, les apports en matière organique, nutriments (azote et phosphore) ont été importants et ont conduit à la désoxygénation de la rivière et à une augmentation temporaire des concentrations en nutriments (azote et phosphore). Le réseau de suivi de la qualité de la Seine, MeSeine, a été immédiatement mobilisé pour suivre l'évolution de la qualité de la Seine durant cet épisode. Ce réseau qui permet de suivre la qualité des eaux de surface en agglomération parisienne (130 km de linéaire de Seine, de Choisy-le-Roi à Méricourt situé à 50 km du rejet de Seine Aval) a été étendu jusqu'à Poses, situé à 140 km du rejet de Seine Aval. Les équipes de scientifiques de Sorbonne Université et Normandie Université ont assuré le suivi de la qualité à l'aval éloigné de l'agglomération parisienne, de Poses à Rouen à plus de 180 km du rejet de Seine Aval. Le suivi de la qualité dans la zone estuarienne s'est appuyé sur le réseau

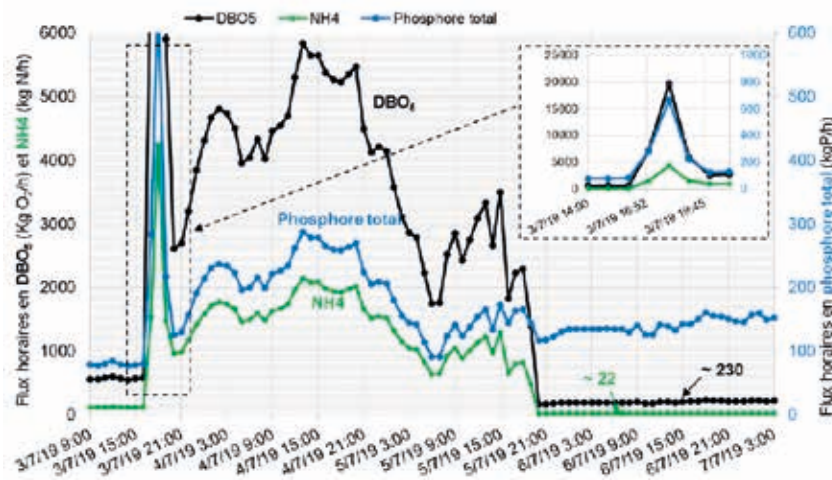


Figure 1. Évolution des flux horaires en matière organique, azote ammoniacal et phosphore total rejetés en Seine entre le 3 juillet et le 7 juillet 2019

de mesure SYNAPSES du GIP-Seine Aval qui couvre le secteur allant de Rouen à l'embouchure de la Seine, zone située à plus de 300 km du rejet de Seine Aval. Cette synthèse technique propose une première analyse de l'impact environnemental de cet incident. L'impact sur la qualité physico-chimique (oxygénation, concentrations en nutriments azotés et phosphorés) et la qualité bactériologique (indicateurs de contamination fécale, *Escherichia Coli* et entérocoques intestinaux) de la Seine est évalué sur la base des données acquises sur plus de 280 km de linéaire de Seine. Les conséquences de la désoxygénation temporaire des biefs de Seine situés en aval immédiat du rejet de Seine Aval sur les populations piscicoles sont également évaluées sur la base des inventaires de mortalité et des recensements piscicoles réalisés les jours suivant l'événement. L'article s'articule autour de 5 parties. La première partie vise à apporter des éléments techniques sur l'incident (flux de matière organique et de nutriments introduits dans la rivière), ainsi que sur les conditions de Seine atypiques, en termes de débit et température, au moment de l'incident (conditions estivales prononcées conduisant à une sensibilité accrue de la rivière aux apports de matière organique). La deuxième partie présente les dispositifs de suivi et les protocoles analytiques mis en œuvre pour suivre l'évolution spatio-temporelle de la qualité de la Seine. Les parties suivantes sont consacrées à l'analyse des suivis expérimentaux. Sont

successivement abordés : (1) l'évolution de l'oxygénation de la rivière et l'impact des périodes de désoxygénation prononcée sur les populations piscicoles, (2) l'évolution des concentrations en azote et phosphore le long du corridor fluvial, (3) et l'évolution de la qualité bactériologique le long du corridor fluvial.

DESCRIPTION ET CONTEXTE DE L'INCIDENT DU 3 JUILLET 2019

Descriptif de l'incident et de ses conséquences sur la qualité du rejet

L'incendie survenu au sein du site industriel de Seine Aval a conduit à une dégradation des performances de traitement entre le mercredi 3 juillet 17h et le vendredi 5 juillet à 20h. Le traitement a été très partiel pendant les 3 premières heures de l'événement, se limitant à l'étape de prétraitement (dégrillage et déshuilage/dessablage). Entre la 3^{ème} et la 42^{ème} heure, les eaux ont été principalement décantées avant d'être rendues au milieu naturel. Le traitement biologique a été remis en fonctionnement progressivement entre la 4^{ème} heure, pour la file membranaire et la 43^{ème} heure, pour la file de biofiltration. La montée en régime rapide du traitement biologique a permis de recouvrer des performances de traitement nominales vis-à-vis de la matière organique et de l'azote dès le vendredi 5 juillet à 20h, soit 51 heures après le déclenchement de l'incendie (figure 1). Dans les conditions d'exploitation

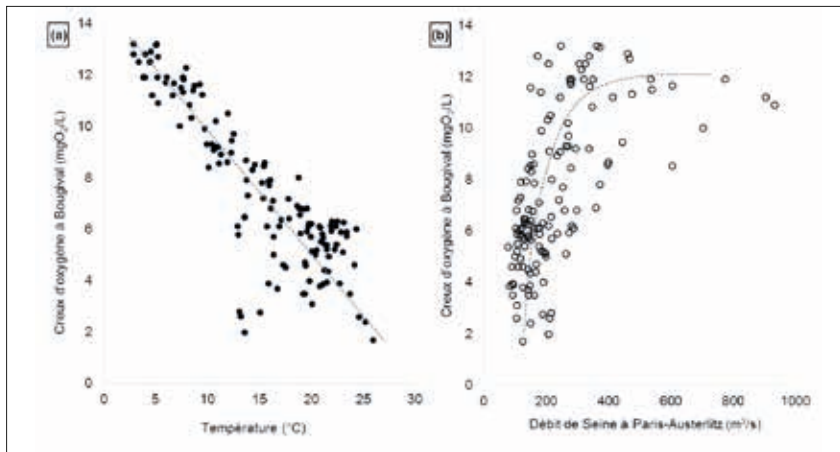


Figure 2. Amplitude du creux d'oxygène (concentration minimale en O₂) en cas de rejets urbains de temps de pluie en fonction de la température et du débit de la Seine (Bougival - 195 événements pluvieux - base de données 2008-2012)

normales, les flux horaires rejetés en Demande Biochimique en Oxygène (DBO₅), en phosphore total (Pt) et en azote ammoniacal (NH₄⁺) sont respectivement de 600 kg O₂/h, 80 kg P/h et 100 kg N-NH₄⁺/h. Pendant les 3 premières heures, les flux horaires rejetés en DBO₅ ont atteint 19600 kg O₂/h puis ont fluctué entre 1700 et 5800 kg O₂/h avant de revenir à des flux normaux le vendredi 5 juillet à 20h. Une dynamique similaire a été observée pour l'azote ammoniacal. Pendant les 3 premières heures, les flux horaires rejetés en NH₄⁺ ont atteint 4250 kg N-NH₄⁺/h puis ont fluctué entre 950-2150 kg N-NH₄⁺/h pendant 42h avant de revenir à des flux normaux le vendredi 5 juillet à 20h. La situation est différente pour le phosphore total qui était principalement éliminé par l'unité de clarifloculation, rendue inopérante suite à l'incendie. Pendant les 3 premières heures, les flux horaires rejetés en phosphore total ont atteint 666 kg P/h, puis ont fluctué entre 91 et 280 kg P/h pendant 42h avant de revenir à des flux de l'ordre de 230 kg P/h, le vendredi à 20h. Ces flux horaires sont légèrement supérieurs à ceux rejetés par la filière comprenant une unité de clarifloculation fonctionnelle.

Conditions de Seine atypiques

La sensibilité du milieu récepteur, c'est-à-dire sa capacité à tolérer un apport de matière organique sans modification majeure des équilibres physico-chimiques et notamment sans désoxygénation prononcée, dépend principalement de deux paramètres : le débit

et la température des eaux.

Le débit constitue le facteur de contrôle de la capacité de dilution des apports anthropiques par le fleuve et du temps de transit des eaux vers la mer. La température intervient, quant à elle, à deux niveaux. D'une part, la concentration en O₂ d'une eau saturée est directement liée à la température de l'eau et, d'autre part, l'activité bactérienne hétérotrophe aérobie, responsable de l'appauvrissement en oxygène du milieu est directement liée à la température du milieu récepteur ; les cinétiques bactériennes étant considérablement ralenties lorsque les températures sont basses. L'influence de ces deux paramètres sur la sensibilité de la Seine aux apports de

matière organique est illustrée par la figure 2. Cette figure est tirée d'une étude antérieure basée sur le suivi des creux d'oxygène mesurés à Bougival, site situé à l'aval des principaux déversoirs d'orage de l'agglomération parisienne, lors de 195 événements pluvieux entre 2008 et 2012 ; le débit étant relevé sur la station de Paris-Austerlitz. La figure 2a montre clairement que le creux d'oxygène en Seine, c'est-à-dire la concentration minimale atteinte lors du passage de la masse d'eau enrichie en matière organique, est étroitement corrélée à la température de l'eau de Seine. On note que, pour des températures supérieures à 22 °C, l'oxygénation de la Seine peut devenir critique lors de déversements d'eau partiellement traitée. La figure 2b illustre quant à elle, l'influence du débit de la Seine sur les creux d'oxygénation. On note que lorsque les débits sont inférieurs à 200 m³/s, les creux d'oxygène sont prononcés, pouvant atteindre des niveaux critiques, inférieurs à 3 mgO₂/L. En conclusion, on considère que la Seine est sensible aux apports de matière organique lorsque le débit mesuré à Austerlitz est inférieur à 200 m³/s et que la température des eaux est supérieure à 22 °C. On considère que la situation devient critique lorsque le débit est inférieur à 100 m³/s et que la température des eaux passe le seuil des 25 °C. Ces conditions sont principalement rencontrées en période estivale, de juin à septembre.

La figure 3 présente l'évolution

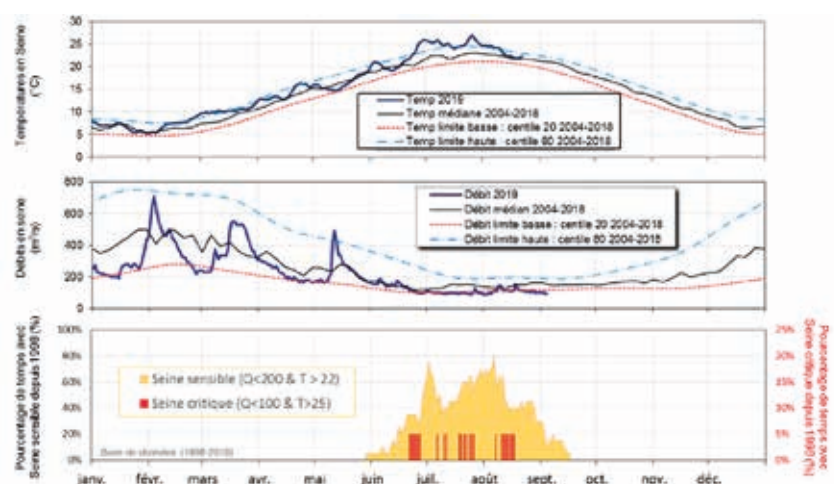


Figure 3. Évolution saisonnière de la température et du débit de la Seine à Austerlitz et pourcentage de temps d'être en situation sensible (Q < 200 m³/s & T > 22 °C) ou critique (Q < 100 m³/s & T > 25 °C), sur une période de 15 ans



Figure 4. Localisation des sites suivis dans le cadre de cette étude - Andrésey (9 km en aval de Seine Aval) à Tancarville (280 km en aval de Seine Aval) [Collaboration SIAAP (MeSeine), Piren-Seine (Sorbonne Université, Normandie Université), PHRESQUES - Réseau SYNAPSES (GIP-Seine Aval)]

saisonnière de la température et du débit de la Seine à Austerlitz et la probabilité d'être en situation sensible ($Q < 200 \text{ m}^3/\text{s}$ et $T > 22^\circ\text{C}$) ou critique ($Q < 100 \text{ m}^3/\text{s}$ et $T > 25^\circ\text{C}$). On note que les périodes sensibles ne concernent que la saison estivale et principalement les mois de juillet et août. Si la probabilité de connaître des périodes sensibles est importante durant ces deux mois, elle chute très rapidement dès mi-septembre. En outre, on note que les périodes critiques où les températures dépassent les 25°C et les débits inférieurs à $100 \text{ m}^3/\text{s}$, sont exceptionnelles. La probabilité de rencontrer ces conditions ne dépasse pas 5 %. Cette analyse statistique met en exergue le caractère exceptionnel du mois de juillet 2019, caractérisé par un débit d'étiage sévère et une température exceptionnellement élevée.

DISPOSITIF DE SUIVI ET PROTOCOLES ANALYTIQUES

Localisation des sites d'observation de la qualité de la Seine

L'impact sur la qualité de la Seine du dysfonctionnement temporaire de la station Seine Aval entre le mercredi 3 juillet et le vendredi 26 juillet a été suivi en s'appuyant sur le réseau de surveillance de la qualité de la Seine du SIAAP, le réseau MeSeine (Mesures en Seine). Ce réseau de mesure intègre un suivi de la qualité

des eaux superficielles sous l'angle de la physico-chimie, de la bactériologie, de la micro-contamination et du biotope (O_2 , carbone, azote, phosphore, bactéries indicatrices fécales, micropolluants réglementés, polluants émergents, populations piscicoles, macro-invertébrés, micro-algues). Ce réseau couvre un linéaire de Seine de Choisy-le-Roi à Méricourt, ce dernier étant situé à 50 km à l'aval du rejet de la station Seine Aval. Pour suivre l'atténuation de l'impact de l'incident, le suivi a été étendu à l'aval éloigné de l'agglomération parisienne du 09 au 26 juillet, via une collaboration avec les équipes de Sorbonne Université (UMR METIS) et Normandie Université (UMR M2C), sous la coordination du programme Piren-Seine. Le niveau d'oxygénation, la qualité physico-chimique et la qualité bactériologique de la Seine ont été suivies à une fréquence quasi-quotidienne sur les sites de Vernon, Courcelles, Poses, Elbeuf, Oissel, et Rouen; ces sites étant respectivement situés à 77, 91, 134, 146, 156 et 170 km du rejet de SAV. Des capteurs permettant de suivre en continu l'oxygénation ont également été installés sur les sites d'Oissel et de Poses à partir du 16 juillet. Le suivi sur la zone estuarienne a été réalisé via une collaboration avec le GIP-Seine Aval qui a mobilisé son réseau SYNAPSES pour suivre l'évolution de l'oxygénation sur les sites de Rouen, Val-des-Leux et Tancarville; ces

sites étant respectivement situés à 170, 183 et 280 km du rejet de SAV.

Le partage de données et d'expertise entre les acteurs en charge du suivi de la qualité de la Seine de Paris à l'estuaire a été facilité par le récent rapprochement entre MeSeine et les acteurs scientifiques du projet PHRESQUES. PHRESQUES, pour Projet d'Harmonisation et de Renforcement du Suivi haute-fréquence de la Qualité de l'Eau de la vallée de la Seine, est une initiative qui a pour objectif d'homogénéiser et de développer les différents dispositifs de suivi en continu de la qualité de l'eau, localisés de l'amont de Paris à la baie de Seine. Ce projet, porté par le GIP Seine-Aval, structure des activités de recherche menées dans le cadre de la Zone Atelier Seine, et fédère la communauté scientifique grâce à la mise en place d'un outil et d'un référentiel commun. Il mobilise principalement les équipes scientifiques de l'Observatoire des Sciences de l'Univers (Ecce-Terra) en lien avec le Piren-Seine, de Normandie Université (Rouen et Caen) et de l'IFREMER (Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer).

Dispositifs de mesures et moyens analytiques mobilisés

L'oxygénation a été suivie en continu en s'appuyant sur les sondes du réseau MeSeine (LDO-HACH) pour les stations d'Andrésey, Meulan et Méricourt. Deux sondes temporaires ont été installées à Oissel (PME-miniDOT) et à Poses (YSI-6600). Pour les sites entre Rouen et Tancarville, les sondes sont celles du réseau SYNAPSES (YSI-6600).

Les analyses de qualité sur tous les sites ont été permises grâce à des campagnes de prélèvements ponctuels. Les échantillons prélevés ont été conservés à 4°C et transportés pour analyse dans un délai inférieur à 24h. Pour les sites situés à l'aval éloigné entre Poses et Rouen, le délai entre le prélèvement et l'analyse étant plus long, une conservation par congélation a été privilégiée. Les analyses physico-chimiques et bactériologiques ont été réalisées par le laboratoire du SIAAP, accrédité COFRAC N° 1-1452 et Agréé Ministère Environnement, et par le laboratoire de Sorbonne Université pour les sites situés à l'aval de Poses. Les paramètres nitrates (NO_3^-), nitrites (NO_2^-), ammonium (NH_4^+) et ortho-phosphates (PO_4^{3-}) ont été systématiquement analysés

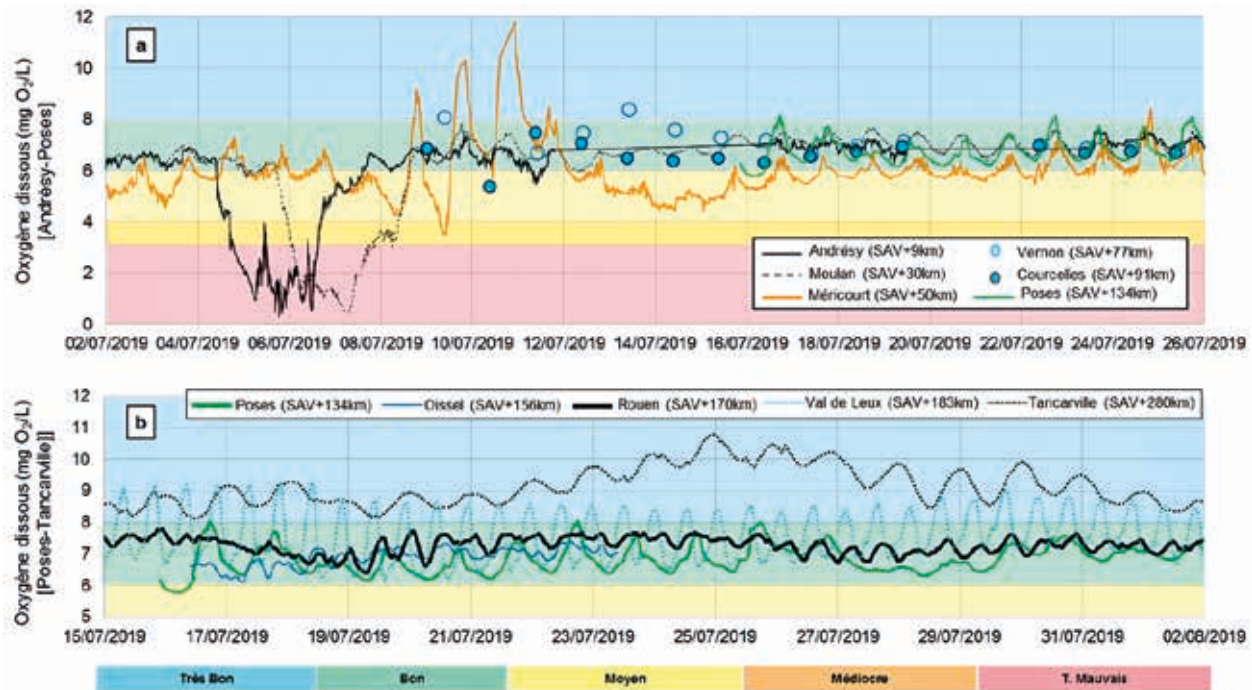


Figure 5. Évolution du niveau d'oxygénation sur les sites d'Andrésey à Tancarville du 3 juillet au 2 août (mesures en continu et mesures ponctuelles)

sur l'ensemble des sites. Pour les sites suivis dans le cadre de MeSeine jusqu'à Poses, les paramètres carbonés [Demande Chimique en Oxygène (DCO) et Matières en Suspension (MeS)] et bactériologiques [*Escherichia Coli* et Entérocoques intestinaux] ont été également analysés.

ÉVOLUTION DE L'OXYGÉNATION ET IMPACT DES CREUX D'OXYGÉNATION SUR LES POPULATIONS PISCICOLES

Dynamique de l'oxygénation à l'aval de SAV

La figure 5 présente l'évolution du taux d'oxygène dans la Seine, du 3 juillet au 2 août, d'Andrésey, situé à 9 km de Seine Aval, jusqu'à Tancarville situé dans la zone estuarienne à plus de 280 km de SAV. Les données ont été acquises en continu sur les sites d'Andrésey, Meulan, Méricourt, Poses, Oissel, Rouen, Val des Leux et Tancarville. Les mesures ponctuelles effectuées quotidiennement, entre 9h et 12h, sur les sites de Vernon et Courcelles, complètent la chronique. Les classes de qualité selon le référentiel DCE sont indiquées par un code couleur (Bleu : Très Bon à rouge : Très Mauvais). La figure 5a présente l'évolution de l'oxygénation à l'aval de l'agglomération parisienne d'Andrésey à Poses (situé à 134 km

de Seine Aval) entre le 3 et le 26 juillet. La figure 5b présente l'oxygénation pour le secteur aval éloigné de l'agglomération parisienne entre le 15 juillet et le 2 août, de Poses à Tancarville. Ces deux graphiques permettent d'apprécier l'impact de l'incident sur le taux d'oxygénation à l'aval immédiat de la station Seine Aval ainsi que l'atténuation de l'onde de désoxygénation à l'aval éloigné de l'agglomération parisienne. Ces deux aspects sont discutés successivement ci-après.

Focus sur l'aval de l'agglomération parisienne (Andrésey à Poses, 140 km après SAV)

La consommation biologique de la matière organique facilement biodégradable introduite dans la rivière a conduit à une désoxygénation de la rivière à l'aval immédiat de la station. A Andrésey, 9 km à l'aval, le niveau d'oxygénation est passé sous le seuil de 2 mgO₂/L; le taux d'oxygène a même atteint des valeurs minimales de 0,5-0,8 mgO₂/L (Figures 5 et 6). Le panache d'eau de

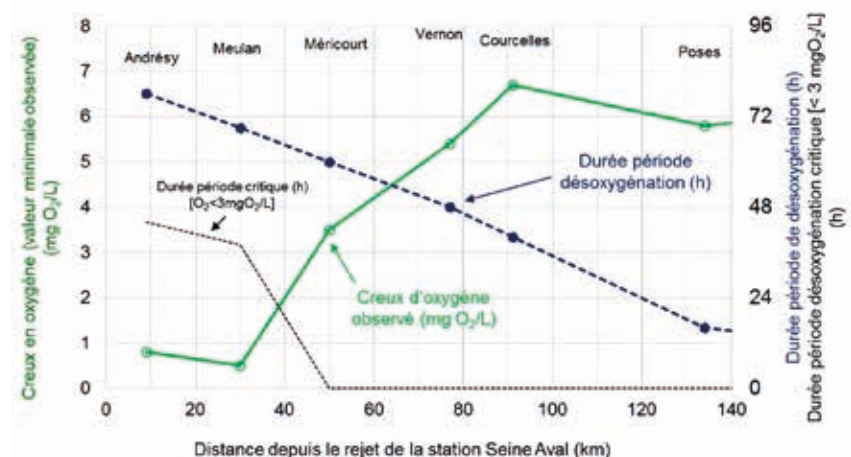


Figure 6. Évolution du creux d'oxygène (concentration minimale en O₂) et de la durée de la période de désoxygénation en Seine à l'aval de la station Seine Aval (Andrésey-Poses)



Photo 1. Campagnes de collecte des poissons et détritux végétaux en aval de la station Seine Aval, menées du 5 au 10 juillet

Seine enrichie en matière organique a atteint le site de Meulan situé à 30 km de la station Seine Aval, après environ 48 heures de temps de transit. La consommation de la matière organique par la biomasse bactérienne était encore intense et de faibles niveaux d'oxygénation ont été observés à Meulan. Le niveau d'oxygénation est passé sous le seuil de $2 \text{ mgO}_2/\text{L}$; le taux d'oxygène a même atteint là encore des valeurs minimales de $0,5\text{-}0,8 \text{ mgO}_2/\text{L}$ (Figures 5 et 6). Lorsque le panache d'eau enrichie en matière organique a atteint le site de Méricourt situé à 50 km de la station Seine Aval et après 100 heures de transit (≈ 4 jours), les taux d'oxygénation sont restés supérieurs à $3 \text{ mgO}_2/\text{L}$ (Figures 5 et 6). De fortes variations nycthémerales ont également été observées sur ce site, avec des concentrations en oxygène dissous atteignant les 10 à $12 \text{ mgO}_2/\text{L}$. Leur forme est caractéristique d'une stratification dans la colonne d'eau à l'amont du barrage, et d'une surconcentration de l'oxygène en surface durant la journée. Cependant, les concentrations mesurées au cours la nuit, non perturbées par la stratification, suffisent pour montrer sans équivoque que le creux de désoxygénation à Méricourt est de moins grande amplitude qu'à Andrésey et Meulan. Ces pics de concentrations résultent aussi d'une activité photosynthétique importante qui pourrait avoir été induite par l'apport de nutriments après l'incident. La matière organique introduite à l'aval de la station a été en

grande partie consommée avant l'arrivée de la masse d'eau à Méricourt ce qui explique, avec la photosynthèse, la plus faible désoxygénation. Cette tendance a été confirmée par les observations faites sur les sites de Vernon et Courcelles où la masse d'eau a bénéficié de la ré-oxygénation par le barrage de Méricourt, et pour lesquels les plus faibles valeurs mesurées sont de $5,4$ et $6,7 \text{ mgO}_2/\text{L}$, respectivement. Au niveau du site de Poses, à 134 km du rejet de la station, la désoxygénation a été à peine perceptible, le taux d'oxygène restant de l'ordre de $6 \text{ mgO}_2/\text{L}$ (Figures 5 et 6). Le taux d'oxygène minimal ne constitue pas l'unique critère permettant d'apprécier le risque vis-à-vis des populations piscicoles. La durée de la période de désoxygénation constitue également un élément clé à prendre en compte. Les figures 5 et 6 montrent que la période durant laquelle le taux d'oxygène est resté sous le seuil critique des $3 \text{ mg O}_2/\text{L}$ est de près de 45 heures pour le site d'Andrésey (figure 6 - courbe noire en pointillés). Cette durée, bien plus longue que celles observées lors des événements pluvieux estivaux, explique l'épisode de mortalité piscicole observé dans ce bief de Seine. Néanmoins, on note que la durée de désoxygénation s'est rapidement réduite au fur et à mesure que le panache transitait en Seine. Dès Meulan, la durée de désoxygénation critique n'était plus que de 38 heures et nulle à partir du site de Méricourt.

Focus sur l'aval éloigné de l'agglomération parisienne (Poses à l'estuaire)

Les niveaux d'oxygénation à aval éloigné de l'agglomération parisienne, de Poses à Tancarville, situés à 134 km et 280 km respectivement de SAV sont illustrés par la figure 5b. Ces suivis confirment les observations faites dans le paragraphe précédent; à savoir une atténuation progressive de l'impact sur l'oxygénation jusqu'à Poses. Les concentrations enregistrées sont globalement restées supérieures à $6 \text{ mgO}_2/\text{L}$; correspondant au bon état (référentiel DCE). On observe que les concentrations en oxygène dissous ont fluctué entre $5,8$ et $8 \text{ mgO}_2/\text{L}$ pour les sites de Poses, Oissel et Rouen, situés à 134, 156 et 170 km respectivement du rejet de SAV. Ces fluctuations sont du même ordre de grandeur que celles classiquement observées pour des conditions hydrologiques similaires (débit, température). Elles sont expliquées par la propagation de la marée dynamique jusqu'à Poses, avec des variations à mettre en lien avec les cycles semi-diurne (marée haute - marée basse) et semi-lunaire (vive-eau, morte-eau). Le suivi de l'oxygénation sur ces sites a donc permis de vérifier l'absence d'impact de l'incident dans l'estuaire de la Seine. En se basant sur les temps de transit estimés grâce au modèle Prose (Rocher & Azimi et al., 2017, Laborie et al., 2016b) et au modèle Mars 3D du GIP-Seine Aval, l'impact du panache d'eau rejetée de la station aurait dû être perçu environ 12, 13 et 16 jours après l'événement, respectivement pour Poses, Oissel et Rouen (Lemoine J.P (coord.) & Verney R. 2015). Logiquement, les niveaux d'oxygénation enregistrés pour les stations de Val des Leux et de Tancarville situées à 183 et 280 km respectivement du rejet de la station Seine Aval, sont restés satisfaisants, avec des valeurs qui ont oscillé entre $8\text{-}11 \text{ mgO}_2/\text{L}$ pour Val des Leux et entre $6\text{-}9 \text{ mgO}_2/\text{L}$ pour Tancarville. Les stations de Rouen, Val des Leux et Tancarville n'ayant pas montré d'impact significatif en lien avec l'incident; les stations les plus en aval (Fatouville et Balise A) n'ont pas été considérées dans cette étude. En effet, sur ces deux stations situées à l'extrémité aval de l'estuaire, les variations de l'oxygène dissous sont grandes. Elles sont issues de processus typiquement estuarien

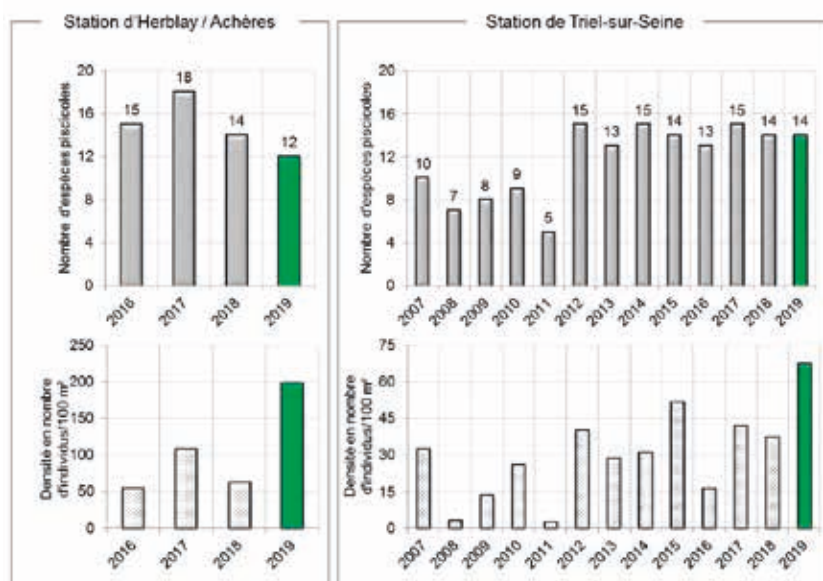


Figure 7. Recensements piscicoles effectués sur les sites d'Herblay et de Triel-sur-Seine, le 25 juillet 2019 et comparaison avec les années antérieures (en vert : les campagnes 2019)

notamment liées au gradient de salinité et à la présence du bouchon vaseux.

Impact de la période de désoxygénation sur les populations piscicoles

Estimation de la mortalité

La désoxygénation profonde et longue décrite dans le paragraphe précédent a impacté les populations piscicoles à l'aval immédiat de SAV, de

Conflans à Triel-sur-Seine principalement (photo 1 – Linéaire signalé en vert). La mobilisation rapide et importante d'embarcations adaptées au ramassage des poissons et de débris végétaux a permis de collecter rapidement les poissons morts. Au total, les campagnes de collecte engagées dès le vendredi 5 juillet et achevées le mercredi 10 juillet ont permis de récupérer 7,5 tonnes de poissons, de végétaux et de déchets.

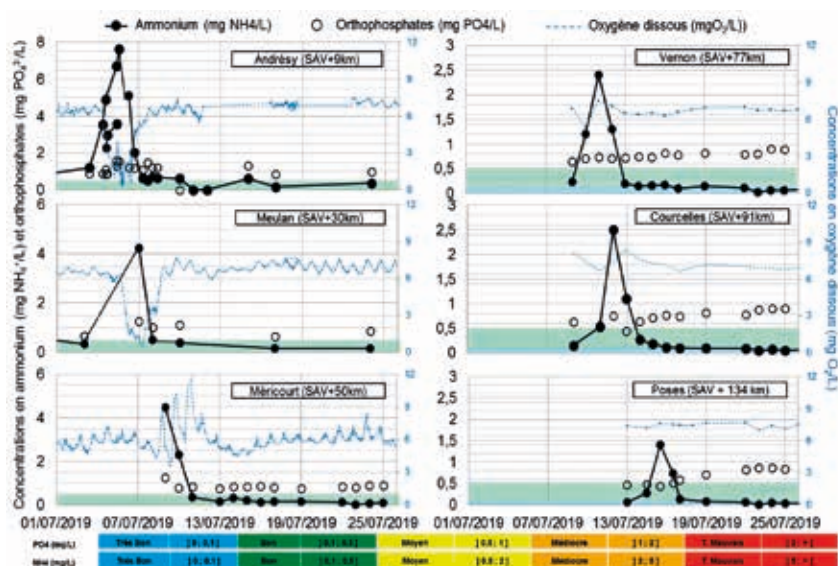
Diagnostic sur l'état des populations piscicoles après l'incident

Depuis 1990, le SIAAP, via son réseau MeSeine, effectue un suivi du peuplement piscicole de la Seine en zone centrale. Les résultats obtenus sur une chronique de 28 années montrent une augmentation du nombre d'espèces présentes en Seine de 14 (1990) à 21 (2018); le nombre total d'espèces recensées sur cette période étant de 34. Une modification de la population de la Seine apparaît également sur cette période de 28 années notamment avec l'apparition ou la densification des populations plus sensibles. On observe ainsi une augmentation du nombre d'individus chez les espèces telles que les ablettes et les chevaines et une présence plus soutenue d'espèces comme la grémille, le chabot ou le sandre (Rochet et Azimi et al., 2017). Parmi les sites de pêche suivis figurent les sites de Herblay et Triel-sur-Seine, sites situés à l'aval proche de la station Seine Aval et par conséquent impactés par l'incident du 3 juillet. Dès le 25 juillet, des recensements piscicoles ont été réalisés sur ces deux sites selon les protocoles conformes aux normes européennes (CEN 14011) et détaillés par Azimi et al. (2015). La figure 7 présente les principaux résultats de ces deux campagnes de recensements piscicoles. Les résultats indiquent que l'épisode de mortalité piscicole survenu sur ces biefs

Tableau 1. Espèces recensées sur les deux sites à l'aval de la station SAV (Herblay et Triel-sur-Seine) et comparaison avec les données historiques (Campagnes du 25 juillet 2019)

Herblay			Triel-sur-Seine		
Espèces 2019	Abondances 2019	Fréquence de détection 4 ans*	Espèces 2019	Abondances 2019	Fréquence de détection 20 ans
Gardon	2129	100	Gardon	670	90
Chevaine	107	100	Chevaine	40	85
Anguille	40	100	Goujon	30	80
Goujon	28	100	Ablette	29	55
Hotu	17	100	Hotu	16	30
Perche	15	100	Anguille	15	95
Ide mélanote	13	100	Ide mélanote	13	45
Vandoise	5	100	Perche	13	80
Ablette	3	100	Brème indéterminée	10	55
Barbeau fluviatile	2	50	Rotengle	3	40
Carpe commune	2	25	Barbeau fluviatile	2	15
Épinoche	1	25	Vandoise	2	55
			Bouvière	1	10
			Épinoche	1	5

(*) : Fréquence calculée sur une période plus courte du fait du caractère plus récent du suivi sur cette station.



Classes de qualité de l'eau selon le référentiel de la Directive Cadre sur l'Eau

Figure 8. Évolution des concentrations en ammonium (mg NH₄/L) et phosphates (mg PO₄/L) d'Andrésey à Poses, du 3 juillet au 26 juillet

ne semble pas avoir d'impact durable sur la diversité et la densité piscicole. En effet, le nombre d'espèces inventoriées sur ces deux sites est cohérent et s'inscrit dans la continuité des années précédentes. Douze et quatorze espèces ont été recensées respectivement sur les sites d'Herblay et de Triel-sur-Seine. La légère baisse observée sur le site d'Herblay est liée à la non capture d'espèces généralement capturées en très faible effectif (silure, sandre, perche soleil). Outre le nombre d'espèces, le résultat marquant de ces campagnes concerne la densité du peuplement piscicole. La densité piscicole pour les deux sites est supérieure à celles estimées pour les années précédentes. A titre d'illustration, la densité piscicole, comprise entre 50-100 individus/100 m² ces trois dernières années sur le site d'Herblay, est estimée à 200 individus/100 m² lors de cette campagne de juillet. Une population importante de juvéniles a par ailleurs été observée. En complément, le tableau 1 propose un récapitulatif des espèces de poissons recensées et leurs abondances respectives. Les fréquences de détection de chacune de ces espèces, calculées à partir de la base de données du réseau MeSeine, sont indiquées à titre de comparaison.

Le tableau 1 montre que les espèces observées lors des campagnes du 25 juillet 2019 correspondent à celles

généralement recensées sur ces deux stations. On note logiquement une proportion importante de gardons sur les deux sites, suivis des chevaines, des goujons et des anguilles. On observe également la présence d'espèces polluo-sensibles telles que l'Ide Mélanote et le Hotu. Ces conclusions positives et rassurantes devront être confirmées par les prochaines campagnes de recensement.

ÉVOLUTION DES CONCENTRATIONS EN AZOTE ET PHOSPHORE LE LONG DU CORRIDOR FLUVIAL

Focus sur l'aval de l'agglomération parisienne (Andrésey à Poses, 134 km après SAV)

La figure 8 présente l'évolution des concentrations en ammonium et ortho-phosphates mesurées dans la Seine du 3 au 26 juillet d'Andrésey à Poses, respectivement situés à 9 et 134 km à l'aval de SAV. Les données ont été acquises *via* des prélèvements ponctuels et des analyses en laboratoires. Les mesures d'oxygène dissous, ponctuelles ou acquises en continu, ont également été intégrées aux graphiques (ligne pointillée bleue).

Cas de l'azote ammoniacal. Le rejet des eaux partiellement traitées de la station SAV a conduit à une augmentation

des concentrations en ammonium dans le milieu naturel. A l'aval immédiat du rejet de la station SAV, sur le site d'Andrésey, la concentration en ammonium a augmenté de manière progressive et inversement corrélée aux taux d'oxygène dissous. Au creux de la désoxygénation, les concentrations en azote ammoniacal ont atteint la valeur maximale de 7,6 mg NH₄⁺/L, le 5 juillet. Le site d'Andrésey a été temporairement classé en état « très mauvais » (référentiel DCE). A titre indicatif, cette valeur maximale correspond aux gammes de concentrations observées dans les années 1980-1985 sur ce site, avant la modernisation des stations d'épuration franciliennes (Rocher & Azimi et al, 2017). Le retour aux valeurs habituelles a été observé dès le 7 juillet avec une concentration de 0,51 mg NH₄⁺/L.

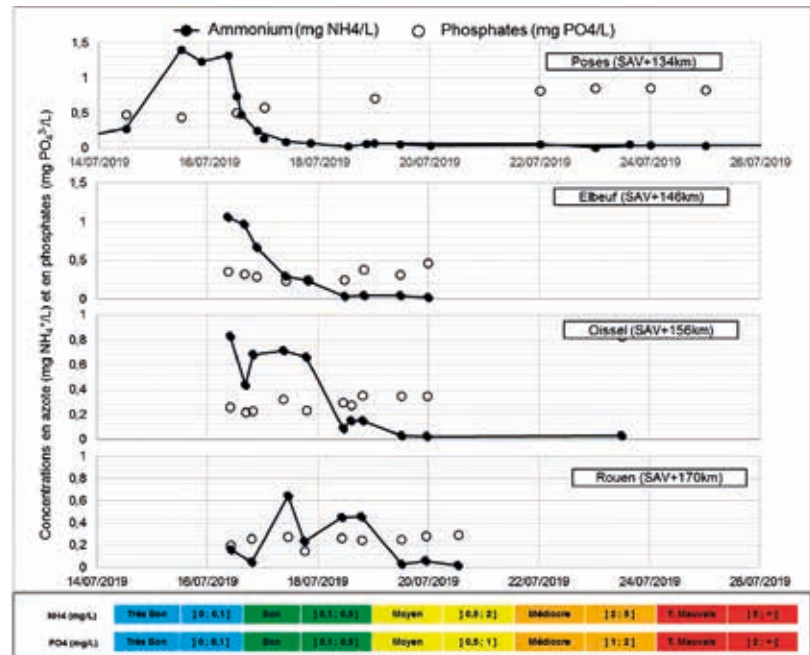
Le processus de nitrification qui s'opère naturellement dans la rivière conduit à l'élimination progressive de l'azote ammoniacal. Les cinétiques de nitrification, plus lentes que celles de dégradation de la matière organique, sont néanmoins accélérées lorsque la température des eaux de Seine est élevée. Dans les conditions estivales prononcées (débit d'étiage sévère et température élevée), Jerbi (2015) estime qu'environ 80 % de l'ammonium rejeté au niveau de la station SAV est nitrifié une fois les eaux arrivées à Poses, 134 km à l'aval de SAV.

Les observations faites dans le cadre de notre suivi permettent d'illustrer ce processus d'élimination. Le pic de concentration s'est fortement atténué lors du transit de l'eau. Sur les sites de Meulan, Méricourt, Vernon et Courcelles, situés respectivement à 30, 50, 77 et 91 km de SAV, les concentrations maximales atteintes ont été de 4,2, 4,5, 2,4 et 2,5 mg NH₄⁺/L (figure 8 et figure 10). Ces augmentations ponctuelles de la concentration ont été observées les 7, 9, 11 et 12 juillet, soit environ 4 à 9 jours après l'incident. A l'instar du site d'Andrésey, le retour à la normale a été rapide sur ces sites avec un passage de l'état « médiocre » à un état « bon » en moins de deux jours. Enfin, sur le site de Poses à 134 km à l'aval de SAV, seule une augmentation ponctuelle et limitée de la concentration a été observée; la concentration ayant seulement atteint 1,4 mg NH₄⁺/L, le 15 juillet soit 12 jours après l'incident.

Cas des ortho-phosphates. Le rejet

des eaux partiellement traitées de la station SAV a conduit à une augmentation des concentrations en orthophosphates dans le milieu naturel (figure 8 et figure 10). A l'aval immédiat du rejet de la station SAV, sur le site d'Andrésey, les concentrations en phosphates ont augmenté de manière progressive et proportionnelle aux concentrations en ammonium. Le site d'Andrésey a été déclassé en état « médiocre » (référentiel DCE), avec une concentration maximale de 1,6 mg $\text{PO}_4^{3-}/\text{L}$, atteinte le 5 juillet. A titre indicatif, cette valeur est inférieure aux concentrations observées dans les années 1980-1985 avant la modernisation des stations d'épuration franciliennes (Rocher & Azimi et al, 2017). Le retour à des niveaux de concentrations proches des valeurs habituelles a été observé le 17 juillet, soit 14 jours après l'incident, avec une concentration de 0,9 mg $\text{PO}_4^{3-}/\text{L}$.

Les observations faites dans le cadre de notre suivi ont permis de montrer que l'excès de phosphore introduit lors de l'incendie a été progressivement adsorbé et/ou métabolisé, grâce à l'activité biologique de la rivière. Ainsi, dès les sites de Meulan et Méricourt, situés respectivement à 30 et 50 km de SAV, les concentrations maximales en phosphates sont restées inférieures à 1,3 mg $\text{PO}_4^{3-}/\text{L}$. Une fois les eaux arrivées au niveau des sites de Vernon et Courcelles, situés à 77 et 91 km de SAV, les concentrations maximales en phosphate n'ont pas dépassé 0,9 mg $\text{PO}_4^{3-}/\text{L}$.



Classes de qualité de l'eau selon le référentiel de la Directive Cadre sur l'Eau

Figure 9 : Évolution des concentrations en ammonium (mg NH_4/L) et phosphates (mg PO_4/L) de Poses à Rouen, du 14 juillet au 26 juillet

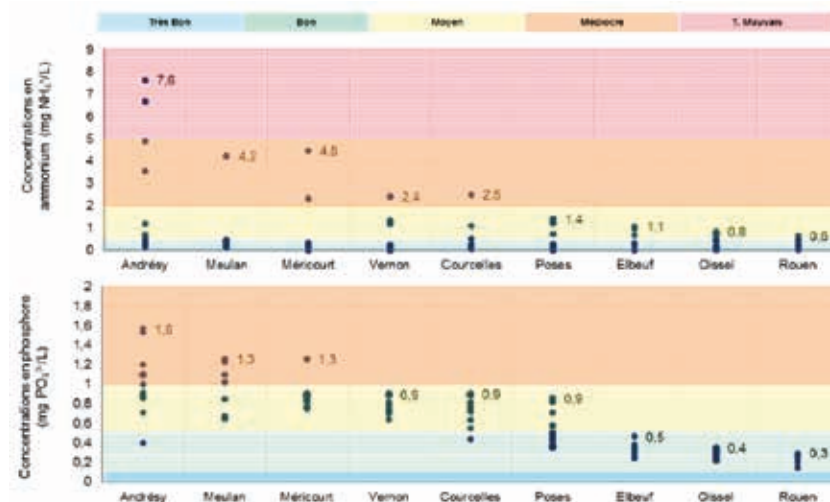
Sur le site de Poses, situé à 134 km à l'aval de la station, les concentrations sont restées comprises entre 0,4 et 0,9 mg $\text{PO}_4^{3-}/\text{L}$. Il convient également de souligner que d'autres phénomènes peuvent expliquer des fluctuations des concentrations en phosphore dans la rivière. Ainsi, par exemple, au niveau du barrage de Poses, la remise en suspension des particules et des phosphates adsorbés

peut conduire à une augmentation des concentrations en phosphore dans la colonne d'eau. Enfin, il est important de noter que les concentrations observées sur les sites entre Vernon et Poses ne sont pas exceptionnelles et ont déjà été observées lors des périodes estivales antérieures (base de données SNS - 2016-2018).

Focus sur l'aval éloigné de l'agglomération parisienne (Poses à l'estuaire)

Le suivi de la qualité de la Seine à l'aval éloigné de l'agglomération parisienne, entre Poses et Rouen, a été mené entre le 15 et le 26 juillet. Ce suivi nous permet d'apprécier l'évolution de l'ammonium et des orthophosphates sur un linéaire de Seine compris entre 134 et 170 km après le rejet de SAV (figures 9 et 10).

Les concentrations en ammonium mesurées à l'aval éloigné de la station SAV suivent les mêmes tendances qu'à l'amont, à savoir une atténuation progressive des pics de concentrations. Ainsi sur les sites de Poses, Elbeuf, Oissel et Rouen respectivement situés à 134, 146, 156 et 170 km du rejet SAV, les valeurs maximales observées ont été de 1,4, 1,1, 0,8 et 0,6 mg NH_4^+/L (figure 9 et figure 10).



Les valeurs affichées correspondent aux valeurs maximales mesurées sur chaque site

Figure 10 : Atténuation spatiale de l'impact de l'ammonium et des phosphates en Seine, d'Andrésey à Rouen, entre le 3 et le 26 juillet

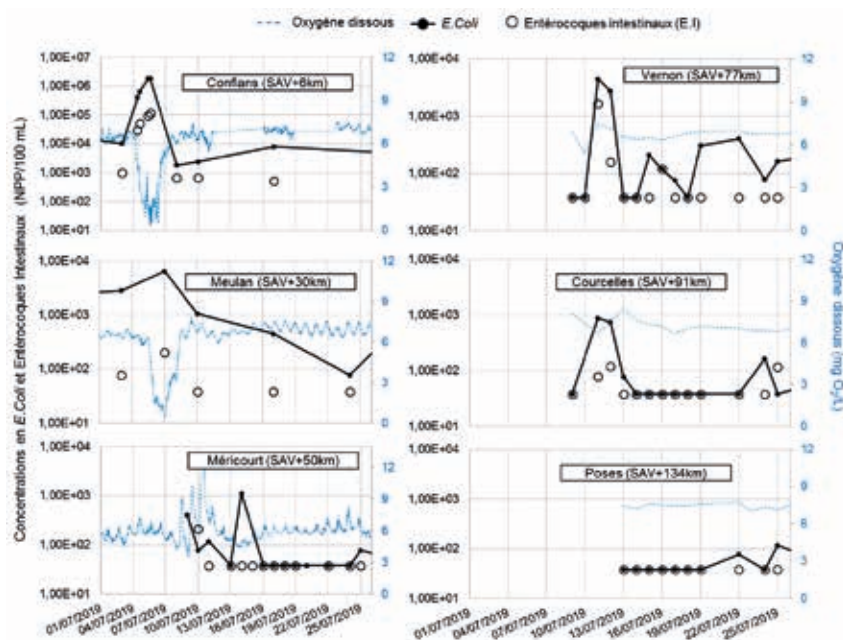


Figure 11: Évolution des paramètres bactériologiques en *Escherichia Coli* (NPP/100 ml) et entérocoques intestinaux (NPP/100 ml) avec un rappel des taux d'oxygénation, de Conflans (6km de SAV) à Poses (134 km de SAV), entre le 3 et le 26 juillet

Après le site de Poses, l'impact de l'incident est minime avec un bref déclassement de la qualité de la Seine en état « moyen ». On observe que le retour à l'état « bon » voire « très bon » est de plus en plus rapide au fur et à mesure qu'on s'éloigne de Poses. Concernant les phosphates, les concentrations maximales observées dans l'estuaire sont globalement stables et inférieures à $0,5 \text{ mg PO}_4^{3-}/\text{L}$; avec des valeurs de plus en plus faibles au fur à mesure qu'on s'éloigne de Poses. On observe une légère augmentation des concentrations en phosphates sur les sites de Poses et Oissel dès lors que l'ammonium s'est placé dans la gamme de valeurs de l'état « bon », sans pour autant dépasser la valeur de $0,8 \text{ mg PO}_4^{3-}/\text{L}$. Des études complémentaires devront être menées pour cerner plus précisément les dynamiques du phosphore en Seine.

ÉVOLUTION DE LA QUALITÉ BACTÉRIOLOGIQUE LE LONG DU CORRIDOR FLUVIAL

La figure 11 permet d'apprécier la qualité bactériologique de la Seine le long du corridor fluvial, de Conflans jusqu'à Poses situé à 134 km à l'aval de SAV. La qualité bactériologique est évaluée en

s'appuyant sur les deux indicateurs de contamination fécale, *Escherichia Coli* (*E.Coli*) et entérocoques intestinaux (*E.I.*). Le rejet des eaux partiellement traitées par la station SAV a conduit à une augmentation des concentrations en *E.Coli* et *E.I.* en Seine. Sur le site de Conflans, à l'aval immédiat de SAV, les concentrations en *E.Coli* et *E.I.* ont atteint 10^6 et 10^5 NPP/100 ml respectivement, le 5 juillet soit une augmentation de 2 à 3 unités logarithmiques par rapport aux valeurs habituelles. Néanmoins, on note un retour rapide et pérenne aux valeurs habituelles dès le 8 juillet, soit 5 jours après l'incident.

Une fois introduites dans l'environnement les bactéries indicatrices fécales (BIF) disparaissent rapidement. La mortalité des BIF dans l'environnement et les facteurs conditionnant sa cinétique ont été étudiés par les équipes du Piren-Seine. Leurs travaux ont notamment montré que les températures élevées étaient propices à la disparition rapide de ces bactéries dans l'environnement; l'effet de la température sur les constantes de mort bactérienne est pris en compte dans le modèle de prédiction ProSe-Bactériologie par une fonction sigmoïde centrée autour de 20°C (Laborie et al. 2016b; Rocher et Azimi, 2017).

Cette incapacité à survivre dans l'environnement explique l'atténuation rapide des concentrations maximales observées. Sur les sites situés entre Meulan et Courcelles (30 à 91 km de SAV), une atténuation rapide des concentrations maximales a été observée; les valeurs maximales ne dépassant pas 10^4 NPP/100 ml pour *E.Coli* et 10^3 NPP/100 ml pour *E.I.* Plus à l'aval, sur le site de Poses (134 km de SAV), aucun impact n'a été identifié. Les concentrations sont restées très faibles, voire inférieures aux limites de quantification analytique de 38 NPP/100 ml.

CONCLUSION

Le mercredi 3 juillet 2019 vers 16h45, un incendie s'est déclaré sur l'unité de clarifloculation de la station de Seine Aval. Les performances de traitement ont été temporairement dégradées entre le mercredi 3 juillet et le samedi 6 juillet. Les réseaux de suivi de la qualité de la Seine ont été immédiatement mobilisés pour suivre l'impact de l'incident sur la qualité du milieu naturel. Le mobilisation des équipes du SIAAP, de Sorbonne Université (Piren-Seine), de Normandie Université et du GIP-Seine Aval a permis de mettre en place un suivi environnemental, allant de Conflans à Tancarville, soit 280 km de linéaire de Seine suivis. La consommation de la matière organique introduite dans la rivière a conduit à une désoxygénation particulièrement forte à l'aval immédiat de la station. Des valeurs inférieures au seuil critique de $3 \text{ mgO}_2/\text{L}$ ont été observées pendant des durées d'environ 40 heures entre Conflans et Meulan, à 30 km de SAV. Le creux d'oxygène a été moindre dès 50 km du rejet de la station avec des concentrations supérieures à $3 \text{ mgO}_2/\text{L}$ et à peine perceptible à Poses, situé à 134 km de SAV. La baisse des niveaux d'oxygénation en Seine en deçà des seuils critiques, a provoqué un épisode de mortalité piscicole à l'aval immédiat de la station. Environ 7,5 tonnes de déchets composés de poissons, d'algues et de détritus végétaux ont été collectées les jours suivant l'incendie. Les campagnes de recensement piscicoles réalisées dès le 25 juillet sur les sites les plus impactés par l'incendie ont néanmoins montré que l'épisode de mortalité piscicole ne semblait pas avoir eu de conséquence durable sur la population piscicole. Le nombre d'espèces inventoriées s'inscrivant dans

la continuité des années précédentes (12 et 14 espèces) et la densité étant même supérieure à celles estimées pour les années précédentes. Une augmentation temporaire des concentrations en nutriments a également été observée à l'aval de SAV. Des valeurs maximales de $7,6 \text{ mg NH}_4^+/\text{L}$ et $1,6 \text{ mg PO}_4^{3-}/\text{L}$ ont été mesurées à l'aval immédiat de SAV avec un retour rapide à la situation habituelle. Sur le secteur plus en aval, une disparition progressive de ces nutriments a pu être observée. S'agissant de la qualité bactériologique de la Seine, le suivi analytique a permis de montrer une dégradation temporaire et ponctuelle à l'aval de la station Seine Aval. Une augmentation estimée à 2-3 unités logarithmiques en *E.Coli* et entérocoques intestinaux a été observée à l'aval immédiat de la station avec des concentrations de l'ordre de 10^6 et 10^5 NPP/100 ml respectivement. Une atténuation progressive des

concentrations a été observée jusqu'au site de Courcelles, situé à 91 km avec des concentrations ne dépassant pas 900 NPP/100 ml en *E.Coli*, correspondant à

la limite de la qualité baignade. Aucun impact n'a été perceptible à Poses, à 134 km du rejet de la station. ●



Bibliographie

AISSA GROUZ JERBI, NAJLA. 2015.

« Eutrophisation et dynamique du phosphore et de l'azote en Seine : un nouveau contexte suite à l'amélioration du traitement des eaux usées ». <http://www.theses.fr/2015PA066266/document>.

AZIMI, S., O. ROUSSELOT, ET V. ROCHER. 2015. « Évolution du peuplement piscicole de la Seine de 1990 à 2013 ». TSM, n° 7-8 : 12-26.

GIP-SEINE-AVAL. 2016. Les poissons migrateurs de l'estuaire de la Seine, 6p.

LABORIE, B., V. ROCHER, L. VILMIN, M.

POULIN, M. RAIMONET, L. BENARD, J.

BERNIER, ET AL. 2016a. « Le modèle de prédiction de la qualité de la Seine ProSe ».

TSM, no 11 : 43-66. 2016b. « Le modèle de prédiction de la qualité de la Seine ProSe - Améliorations apportées par les récents travaux de recherche (Piren-Phase VI) ». Techniques Sciences Méthodes, n°11 (novembre) : 43-66. <https://doi.org/10.1051/tsm/201611043>.

LEMOINE J.P (COORD.) & VERNEY R.

2015. « Fonctionnement hydro-sédimentaire de l'estuaire de la Seine - Fascicule Seine-Aval 3.3 ».

SYNDICAT INTERDÉPARTEMENTAL POUR L'ASSAINISSEMENT DE L'AGGLOMÉRATION PARISIENNE,

VINCENT ROCHER, ET SAM AZIMI. 2017.

Évolution de la qualité de la Seine en lien avec les progrès de l'assainissement de 1970 à 2015.